INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Redes com Integração de Serviços (RIS)

2ª Parte – Redes de Banda Larga ATM

1. Introdução

A RDIS de Banda Larga foi projectada como uma rede de telecomunicações que integrará todos os serviços, utilizando um novo modo de transferência de informação, conhecido como Modo de Transferência Assíncrono ("Asynchronous Transfer Mode") e designado abreviadamente por ATM.

Modo de transferência de informação é a técnica usada numa rede de telecomunicações, cobrindo os aspectos relacionados com transmissão, comutação e multiplexagem.

Antes do aparecimneto do ATM os modos de transferência mais utilizados em redes públicas e privadas eram a comutação de circuitos e a comutação de pacotes. Em comutação de circuitos é estabelecido um circuito de comunicação entre duas estações, por onde circula de um modo transparente a informação do utilizador, usando-se multiplexagem do tipo divisão em frequência (FDM) ou do tipo divisão síncrona no domínio temporal (STDM). É o caso da rede telefónica.

Em comutação de pacotes, a informação do utilizador é encapsulada em pacotes, que contêm informação adicional para encaminhamento na rede e para outras funções de controlo. É utilizado um mecanismo do tipo "store and forward", sendo a multiplexagem do tipo divisão assíncrona no domínio temporal (ATDM). É o caso da rede X.25.

A RDIS de banda estreita usa ambos os modos de transferência, providenciando uma integração de serviços só ao nível do acesso do utilizador. Há um único acesso à rede, incluindo a linha de acesso e os procedimentos de controlo.

A RDIS de banda larga pretende assegurar uma integração total de serviços, não só no acesso à rede, mas ao nível de toda a rede. O modo ATM assegura essa integração, garantindo além disso uma rede flexível, capaz de se adaptar a diferentes ritmos de comunicação, mantendo uma elevada eficiência dos recursos da rede para uma larga gama de serviços.

2. Princípios básicos de ATM

O modo ATM junta num mesmo mecanismo de transferência de informação a flexibilidade do modo de comutação de pacotes e a simplicidade das técnicas temporais síncronas em modo de comutação de circuitos.

Em ATM é mantida a estrutura de transmissão das redes temporais síncronas caracterizadas pela transmissão blocos de informação de dimensão fixa, denominados células, transportados em cada intervalo de tempo (*slot*). Ao contrário do que acontece na comutação de circuitos, as células não são enviadas em *slots* fixos pré-definidos, sendo a identificação de cada canal efectuada através de uma identificação explícita do canal a que se destina, permitindo assim que a informação possa ser enviada de modo assíncrono relativamente aos *slots* de transmissão disponíveis.

A dimensão de cada célula ATM é de 53 octetos, como se indica na figura 2.1, decompondo-se em dois campos: cabeçalho e campo de informação. O cabeçalho tem a dimensão de 5 octetos, tendo como principal função a identificação do canal e o encaminhamento da célula ao longo da rede. O campo de informação tem a dimensão de 48 octetos, sendo utilizado para transporte de informação do utilizador. A ordem de transmissão é a do envio do bit de maior peso de cada octeto em primeiro lugar, seguindo-se os outros bits do mesmo octeto por ordem decrescente. A ordem de envio dos octetos é por ordem crescente, do 1 ao 53.
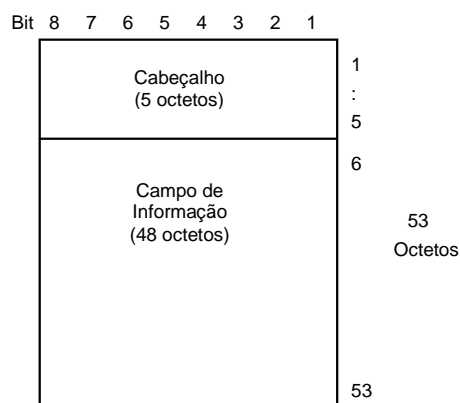
Fig. 2.1 - Formato da célula ATM

Com vista a garantir a sua universalidade e simplicidade, o ATM fornece um serviço que é independente da aplicação, sendo todas as funções que dependem da aplicação removidas para a extremidade da rede.

A independência do ATM em relação à aplicação efectua-se a dois níveis:

i) independência temporal, no sentido em que não há relação entre o relógio da aplicação e o relógio da rede;

ii) independência semântica, por não haver relação entre a estrutura da célula e a estrutura de dados da aplicação.

Para garantir a transparência da informação, a rede ATM não efectua qualquer acção no campo de informação da célula, tendo qualquer problema que ocorra na transferência da célula, nomeadamente erros de transmissão ou *jitter* de ser resolvidos pelo equipamento terminal.

A multiplexagem do modo ATM é do tipo ATDM, indicando-se na figura 2.2 a maneira como é feita a multiplexagem de informação proveniente de várias fontes distintas para o meio de transmissão, e a correspondente desmultiplexagem na recepção.
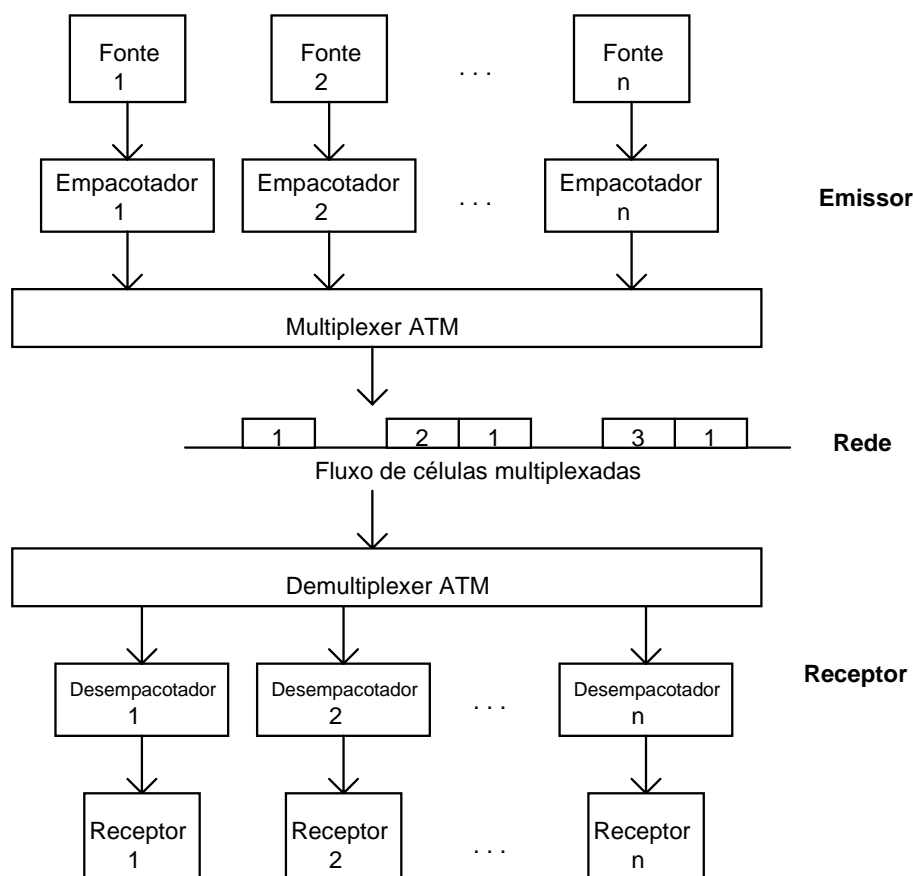
Fig. 2.2 - Multiplexagem/Desmultiplexagem de células ATM

Cada fonte gera informação ao seu próprio ritmo e envia essa informação para um dispositivo empacotador. O empacotador tem a principal função de formar células com o formato já indicado, e submetê-las em sequência ao multiplexer. O multiplexer inserirá cada célula recebida no próximo "slot" do meio de transmissão. O fluxo de células multiplexadas é transmitido para a rede a um ritmo que depende da linha de transmissão, com valores de 2,048 Mbit/s a 155,520 Mbit/s numa primeira fase da RDIS de banda larga, ou a 622,080 Mbit/s numa fase posterior.

Deste modo a rede não impõe um ritmo fixo a cada uma das fontes, como sucede nas redes temporais síncronas, adaptando-se sem qualquer dificuldade a fontes de informação com ritmos diferentes.

Na recepção ocorre um mecanismo inverso, em que cada célula é enviada para o desempacotador correspondente de acordo com o endereço existente no cabeçalho e a partir daí o campo de informação da célula é enviado para o receptor respectivo.

O modo ATM foi adoptado pelo ITU-T como sendo o modo de transferência de informação para a RDIS de banda larga, tendo o ITU-T publicado as primeiras 13 Recomendações sobre ATM em 1990. Estas recomendações para além de referirem os aspectos gerais de ATM, definem as características funcionais da rede ATM, o modelo de referência de protocolos, as características funcionais das diferentes camadas já identificadas, as especificações da interface utilizador-rede e princípios de operação e manutenção. Embora ainda incompletas em muitas partes, estas recomendações são um bom ponto de partida para a futura implementação de uma RDIS de banda larga.

3. Modelo de referência de protocolos

O modelo de referência de protocolos para a RDIS de banda larga é um modelo hierárquico, conforme mostrado na figura 3.1, que consiste de três planos distintos: plano de utilizador, plano de controlo e plano de gestão. Esta divisão do modelo em três planos tinha já sido seguida para o modelo de referência de protocolos na RDIS de banda estreita.
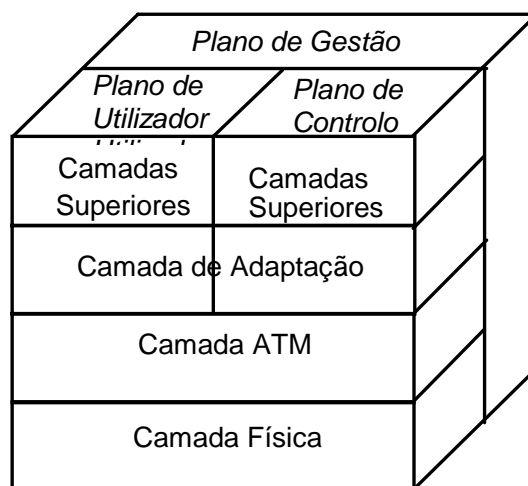
Fig. 3.1 - Modelo de referência de protocolos

O plano de utilizador está associado à transferência de informação do utilizador, o plano de controlo está associado à sinalização e o plano de gestão a todos os mecanismos de operação e manutenção das entidades em cada camada e da rede de um modo geral.

Os planos estão divididos em camadas. Actualmente estão definidas as três camadas inferiores: Física, ATM e Adaptação. A definição das camadas acima da de Adaptação está em estudo, podendo transitoriamente nalguns casos, utilizar-se os protocolos existentes para as camadas superiores do modelo OSI.

A camada Física consiste de duas subcamadas: subcamada dependente do meio físico e subcamada de convergência de transmissão. A subcamada do meio físico é a subcamada inferior e tem como função realizar a interface para o meio de transmissão, ao nível de conversão electro-óptica, codificação de linha e sincronização de bit. A subcamada de convergência de transmissão tem a função principal de converter o fluxo de células ATM em bits para serem transportados no meio de transmissão.

A camada ATM efectua a multiplexagem das células provenientes de diferentes fontes num único fluxo de células para emissão e faz a correspondente desmultiplexagem para os diferentes destinos na recepção. Esta camada tem também as funções de gerar os cabeçalhos das células na emissão e extraí-los na recepção, bem como efectuar a tradução dos identificadores dos canais virtuais nos cabeçalhos das células, nos comutadores da rede.

A camada de Adaptação (AAL - ATM Adaptation Layer) tem como função adaptar os diferentes serviços de telecomunicações ao modo ATM, a fim de manter a qualidade de serviço desejada. Contrariamente às camadas Física e ATM, a camada de Adaptação depende do serviço.

A camada de Adaptação consiste de duas subcamadas: subcamada de segmentação e reassemblagem (SAR - Segmentation and Reassembly) e subcamada de convergência (CS - Convergence Sublayer).

A subcamada SAR é a subcamada inferior e basicamente executa na emissão, a segmentação das unidades de informação da camada superior para as inserir no campo de informação das células e na

recepção faz a operação inversa, que consiste na reassemblagem dos campos de informação das células em unidades de informação para a camada superior.

A subcamada CS pode executar funções do tipo recuperação do relógio do serviço, compensação da variação do atraso das células na rede, recuperação de células perdidas, etc. Estas funções dependem directamente do serviço em causa.

Na figura 3.2 apresenta-se o modelo de referência de protocolos de RDIS-BL, com indicação das funções mais importantes de cada camada e sub-camada.

Camada	Subcamada	Funções
Camadas Superiores		Funções das camadas superiores
Camada AAL	CS	Convergência
	SAR	Segmentação e reagrupamento
Camada ATM		Controlo de fluxo genérico Geração/extracção do cabeçalho Tradução do VPI/VCI Multiplexagem/demultiplexagem de células
Camada Física	TC	Adaptação do ritmo de célula Geração/verificação da sequência de HEC Delineamento de células Adaptação de trama de transmissão Geração/recuperação de trama de transmissão
	PM	Temporização de bit Funções de meio físico

Fig. 3.2 - Funções do RDIS-BL e a sua relação com o modelo de referência de protocolos

Analisamos em seguida mais detalhadamente cada uma das camadas e sub-camadas do modelo.

4. Camada ATM

As características da camada ATM são independentes do sistema de transmissão e do meio de transmissão utilizados. A adaptação da camada ATM ao sistema de transmissão é feita ao nível da camada Física. Este desacoplamento entre a camada ATM e a transmissão permite que comutadores e multiplexers ATM possam ser introduzidos na rede e evoluir independentemente dos aspectos de transmissão da rede.

As funções da camada ATM aparecem reflectidas na estrutura do cabeçalho da célula. Os 5 octetos do cabeçalho são repartidos por diversos campos, de acordo com a recomendação I.361 do ITU-T, tal como mostrado na figura 4.1.
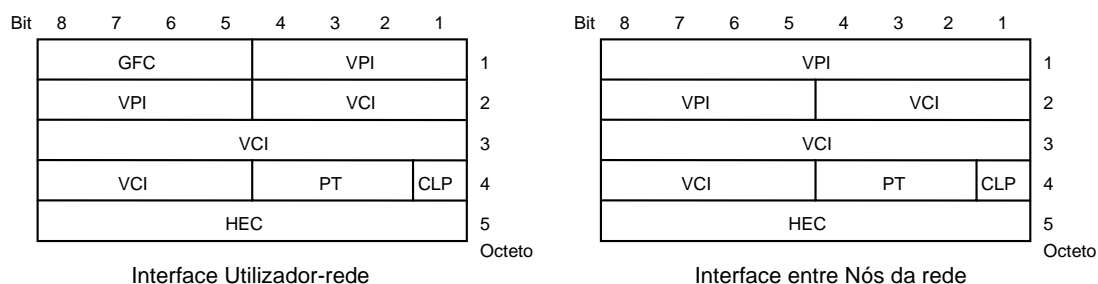
Fig. 4.1 - Estrutura do cabeçalho da célula ATM

A estrutura do cabeçalho é diferente na interface utilizador-rede ("User Network Interface" - UNI) e nas interfaces internas da rede, designadas interfaces entre nós da rede ("Network Node Interface" - NNI). A diferença consiste somente na existência na UNI do campo GFC.

O campo de controlo de fluxo GFC (Generic Flow Control) é utilizado na interface utilizador-rede no caso de existirem configurações com múltiplos utilizadores para controlar o acesso destes utilizadores à rede. Se o campo GFC não for utilizado deve ser colocado a 0000.

A identificação de um canal lógico ATM está dividida em duas entidades hierárquicas : caminho virtual ("Virtual Path" - VP) e canal virtual ("Virtual Channel" - VC). Estas entidades são identificadas no cabeçalho da célula pelo identificador de caminho virtual (VPI) e pelo identificador de canal virtual (VCI).

Numa dada interface um canal de comunicação é identificado pelo campo (VPI/VCI) completo.

A relação hierárquica entre caminhos e canais virtuais está expressa na figura 4.2.
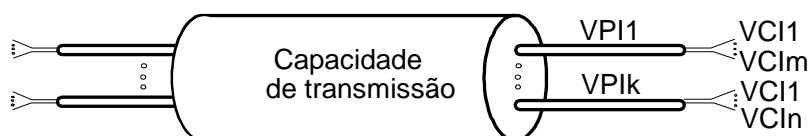
Fig. 4.2 - Relação entre caminhos virtuais e canais virtuais

A existência de caminhos virtuais permite que a rede suporte ligações semi-permanentes entre utilizadores, comutando caminhos virtuais, através de sistemas "cross-connect", tratando de um modo global todos os canais virtuais pertencentes a um caminho virtual.

As ligações comutadas na rede, são estabelecidas através de comutadores ATM, que comutarão caminhos e canais virtuais individualmente.

O número de bits do VPI e do VCI utilizados para encaminhamento na rede são negociados entre o utilizador e a rede, de acordo com as seguintes regras: i) os bits de VPI atribuídos deverão ser contíguos e a começar pelos bits menos significativos do campo VPI; ii) analogamente, os bits de VCI atribuídos deverão ser contíguos e a começar pelos bits menos significativos do campo VCI.

Os três bits do campo PT ("payload type") contêm o identificador do tipo de informação da célula (PTI). Tal como se indica na tabela 3, os quatro primeiros valores do PTI (000 a 011) indicam que a

célula contém dados do utilizador, os três seguintes (100 a 110) indicam que a célula contém informação de gestão, sendo o último valor (111) reservado para uso futuro.

Tabela 4.1 - Codificação do PTI

PTI	Interpretação
000	Dados do Utilizador, sem congestão, com AUU=0
001	Dados do Utilizador, sem congestão, com AUU=1
010	Dados do Utilizador, com congestão, com AUU=0
011	Dados do Utilizador, com congestão, com AUU=1
100	Célula OAM F5, associada a segmento
101	Célula OAM F5, associado a extremo a extremo
110	Célula de Gestão de recursos (RM)
111	Reservada para uso futuro

AUU = ATM-user-to-ATM-user indication RM - Resource Management

As células do utilizador que atravessem um comutador ou multiplexer congestionado podem sofrer uma alteração do valor do segundo bit do PTI de 0 para 1, isto é, se o PTI é 000 passa para 010, se é 001 passa para 011. Esta alteração indica ao receptor que a célula cujo PTI foi modificado atravessou pelo menos um elemento de rede sujeito a congestão de tráfego.

O bit de menor peso do PTI das células do utilizador indica o valor do parâmetro AUU (ATM-user-to-ATM-user indication), o qual como veremos pode ser utilizado pelas camadas superiores, nomeadamente pela camada AAL.

O bit CLP ("cell loss priority") indica a prioridade de perda de célula. Quando este bit está a 1 designa uma célula de prioridade mais baixa. As células de prioridade mais baixa serão as primeiras a ser eliminadas no caso de congestão da rede.

O campo HEC ("header error control") é um campo para controlo de erros no cabeçalho. Devido ao mecanismo de controlo de erros ser também usado para determinar a delimitação de células, considera-se que este mecanismo pertence à camada Física (subcamada TC).

O campo HEC cobre todo o cabeçalho da célula, tendo a capacidade de corrigir um único bit de erro no cabeçalho ou de detectar múltiplos erros no cabeçalho. A capacidade de correcção de um bit é justificada pela elevada probabilidade de ocorrência de um erro isolado de um bit, e pelas consequências que esse erro acarreta no cabeçalho da célula ATM, nomeadamente quando ocorre sobre os campos VPI ou VCI, casos em que a célula poderia ser perdida ou mal inserida noutra conexão virtual.

Na tabela 4.2 indicam-se alguns valores do cabeçalho pré-atribuídos pelo ITU-T na UNI para utilização da camada física, não se incluindo na tabela o campo HEC.

Tabela 4.2- Valores do cabeçalho pré-atribuídos na UNI para utilização da camada física

	Octeto 1	**Octeto 2**	**Octeto 3**	**Octeto 4**
Célula vazia (idle cell)	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0001
Célula OAM de nível físico (F3)	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 1001
Reservado para uso do nível físico	PPPP 0000	0000 0000	0000 0000	0000 PPP1

P - bit disponíveis para uso pelo nível físico

Foram também pré-atribuídos pelo ITU-T na UNI outros valores de VPI, VCI, PT e CLP para utilizações específicas, nomeadamente para sinalização e gestão, tal como indicado na tabela 4.3.

Tabela 4.3- Valores de VPI, VCI, PT e CLP pre-atribuídos na UNI

Utilização	**VPI**	**VCI**	**PT**	**CLP**
Meta-sinalização	xxxxxxxx	00000000 00000001	0A0	C
Sinalização de difusão geral	xxxxxxxx	00000000 00000010	0AA	C
Sinalização ponto-a-ponto	xxxxxxxx	00000000 00000101	0AA	C
Célula OAM F4 entre segmentos (I.610)	yyyyyyyy	00000000 00000011	0A0	A
Célula OAM F4 entre terminais (I.610)	yyyyyyyy	00000000 00000100	0A0	A
Célula OAM F5 entre segmentos (I.610)	yyyyyyyy	zzzzzzzz zzzzzzzz	100	A
Célula OAM F5 entre terminais (I.610)	yyyyyyyy	zzzzzzzz zzzzzzzz	101	A
Célula de gestão de recursos (I.371)	yyyyyyyy	zzzzzzzz zzzzzzzz	110	A
Célula não atribuída	00000000	00000000 00000000	BBB	0

A - bit disponível para uso pela camada ATM
B - bit não relevante, pode ser 0 ou 1
C - bit posto a 0 pela entidade de sinalização, podendo ser mudado pela rede
xxxxxxxxx - qualquer valor de VPI
yyyyyyyy - qualquer valor de VPI
zzzzzzzz - qualquer valor de VCI diferente de zero

5. Camada Física

A camada Física está dividida em duas subcamadas, a subcamada superior, chamada subcamada de convergência de transmissão (TC - Transmission Convergence) e a subcamada inferior, chamada subcamada dependente do meio físico (PM - Physical Media).
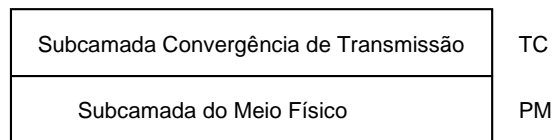
Fig. 5.1 - Subcamadas da Camada Física

5.1. Subcamada de convergência de transmissão

São as seguintes as funções efectuadas pela subcamada de convergência de transmissão (TC):

- Adaptação do ritmo de células
- Geração/verificação da sequência de HEC do cabeçalho
- Delimitação de células e *scrambling*
- Adaptação da trama de transmissão
- Geração/recuperação de trama de transmissão

5.1.1. Adaptação do ritmo de células

Uma função da subcamada TC é assegurar a adaptação do ritmo de células válidas à capacidade disponível do canal físico de transmissão. Assim no emissor, quando não houver células geradas pelas fontes serão inseridas nesta sub-camada as células vazias (idle cells) necessárias de modo que em conjunto com as células geradas pelas fontes e as células de gestão assegurem o ritmo de transmissão de linha, tal como se mostra na figura 5.2.
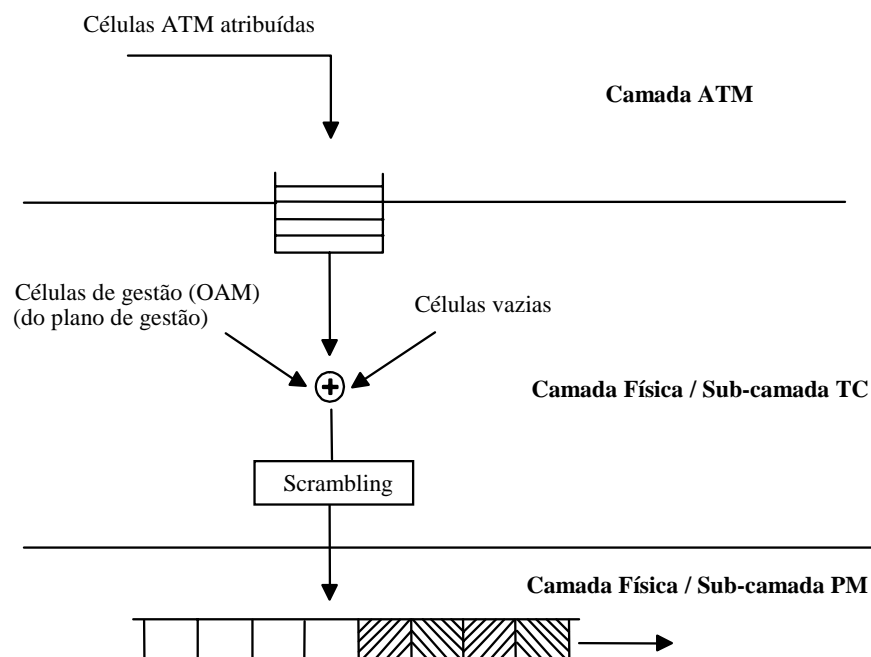
Fig. 5.2 - Adaptação do ritmo de células ATM

Na recepção efectua-se o processo inverso de eliminação das células vazias na interface com a camada superior. O padrão normalizado para o campo de informação das células vazias foi 6A (hex).

Assim, o formato da célula vazia, incluindo o cabeçalho é: 00 00 00 01 52 6A 6A ... 6A.

5.1.2. Geração/verificação da sequência de HEC do cabeçalho

O campo HEC do cabeçalho é um octeto que, de acordo com a recomendação I.432 do ITU-T, corresponde ao resto da divisão módulo 2, do cabeçalho da célula, excluindo o HEC, multiplicado por X^8, pelo polinómio gerador $X^8 + X^2 + X + 1$. Este polinómio permite corrigir um bit em erro e detectar múltiplos bits em erro, podendo o HEC ser implementado em série pelo circuito da figura 5.3.
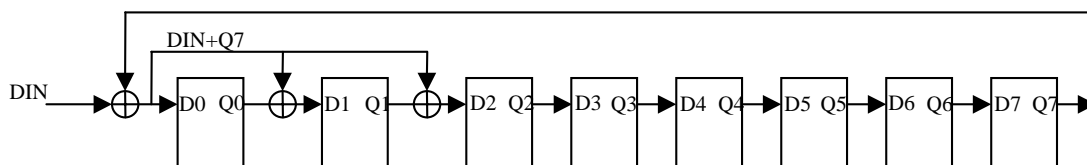
Fig. 5.3 - Gerador de HEC no emissor ($X^8 + X^2 + X + 1$)

Para o processamento do HEC em série, bit a bit, obtêm-se as seguintes equações de geração do HEC:

Q0+ = DIN+Q7
Q1+ = DIN+Q7+Q0
Q2+ = DIN+Q7+Q1
Q3+ = Q2
Q4+ = Q3
Q5+ = Q4
Q6+ = Q5
Q7+ = Q6

Para o processamento em paralelo, octeto a oceto, foram deduzidas as equações de geração do HEC, que são as seguintes:

Q0+ = D0+Q0+D6+Q6+D7+Q7
Q1+ = D0+Q0+D1+Q1+D6+Q6
Q2+ = D0+Q0+D1+Q1+D2+Q2+D6+Q6
Q3+ = D1+Q1+D2+Q2+D3+Q3+D7+Q7
Q4+ = D2+Q2+D3+Q3+D4+Q4
Q5+ = D3+Q3+D4+Q4+D5+Q5
Q6+ = D4+Q4+D5+Q5+D6+Q6
Q7+ = D5+Q5+D6+Q6+D7+Q7

Na figura 5.4 mostra-se o diagrama de blocos do gerador de HEC, em que se verifica a existência de um conjunto de inversores de saída (55H), tal como definido na Rec. I.432, para impedir que para a célula nula corresponda um HEC nulo.
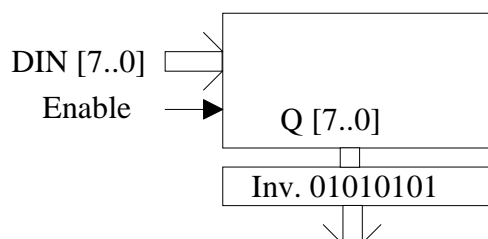
Fig. 5.4 -Gerador de HEC no emissor

Dão-se em seguida alguns exemplos de HEC gerados para valores conhecidos do cabeçalho da célula.

Tabela 5.1 - Exemplos de codificação do HEC

Célula	H0	H1	H2	H3	HEC s/Inv.	HEC c/Inv.(55H)
Nula	00	00	00	00	00	55
Vazia	00	00	00	01	07	52
F1	00	00	00	03	09	5C
F3	00	00	00	09	3F	6A

O procedimento para controlo de erros na recepção com base no campo HEC está descrito na figura 5.5, em que se verifica a existência de dois modos de operação no receptor: correcção e detecção.
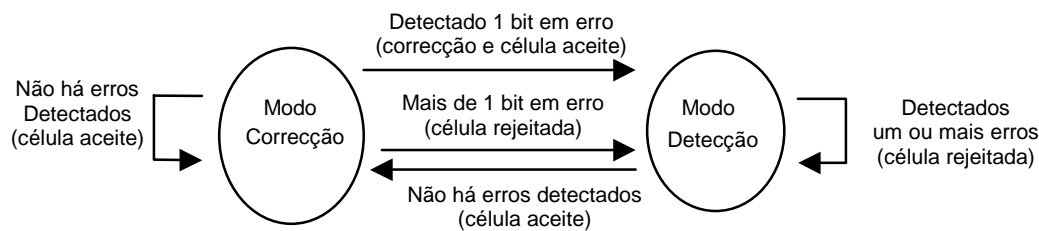
Fig. 5.5 - Diagrama de estados para controlo de erros na recepção

O modo inicial é o de correcção, em que existe a capacidade no receptor de corrigir um bit errado. Cada cabeçalho recebido é examinado e se fôr detectado um erro a acção a executar depende do modo de operação do receptor.

No modo correcção, se fôr só um bit errado, este é corrigido; se ocorreram erros em mais de um bit a célula é rejeitada. Em ambos os casos, o receptor comuta para o modo de detecção em seguida. No modo detecção todas as células com erros no cabeçalho são rejeitadas, mantendo-se o receptor no modo detecção. Quando ocorrer um cabeçalho sem erros, o receptor volta ao modo correcção.

Devido a este procedimento, o receptor tem possibilidades de reagir às situações de erros isolados e também às de "bursts" de erros. Ambas as situações de erro podem ocorrer em sistemas de transmissão baseados em fibra óptica.

5.1.3. Delimitação de células e scrambling

A delimitação de células é o mecanismo que permite determinar o princípio e fim de cada célula, isto é, delimitar a célula. O mecanismo de delimitação da célula é baseado na correlação que existe entre o valor do cabeçalho da célula e o campo HEC para controlo de erros no cabeçalho.

O mecanismo de delimitação da célula tem o diagrama de estados indicado na figura 5.6.
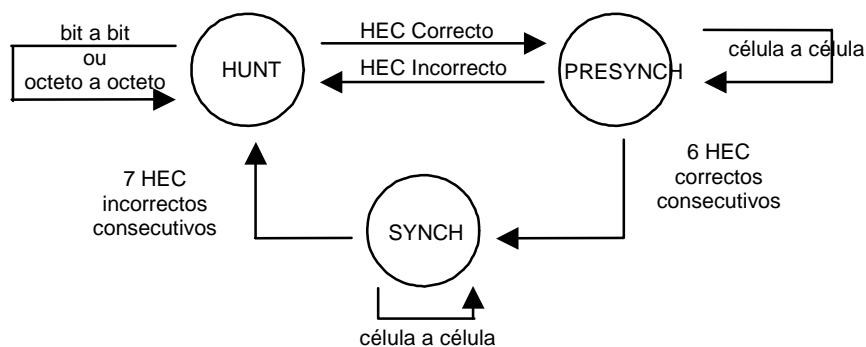
Fig. 5.6 - Diagrama de estados para delimitação de célula

Este diagrama de estados é implementado no receptor, iniciando-se no estado HUNT e considerando-se o sistema sincronizado quando se atinge o estado SYNCH.

No estado inicial HUNT é verificado bit a bit se a codificação do HEC em relação ao valor do resto do cabeçalho está correcto. Assim que se encontrar um valor correcto, presume-se que se está em presença de um cabeçalho correctamente delimitado e passa-se ao estado PRESYNC. Este mecanismo repete-se até que se encontrem HEC correctos durante 6 vezes consecutivas, passando-se nessa altura ao estado SYNCH, em que se considera o processo de delimitação da célula concluído. Perder-se-á esta delimitação se ocorrerem HEC incorrectos durante 7 vezes consecutivas, voltando-se ao estado inicial.

Nos sistemas de transmissão que fornecem à camada TC informação de início e fim de octeto, a verificação de HEC correcto no estado HUNT faz-se octeto a octeto (em vez de bit a bit), o que permite uma sincronização em média 8 vezes mais rápida.

De modo a aumentar a segurança do processo de delimitação de células em relação a eventuais simulações do HEC correcto no campo de informação, os bits do campo de informação são misturados por um processo pseudo-aleatório antes da informação ser enviada para a rede, denominado "scrambler", baseado num conjunto de registos de deslocamento com realimentação.

Na recepção, após o procedimento de delimitação de célula, existe um mecanismo inverso que permite reconstituir o campo de informação original.

Para a transmissão em interfaces SDH e PDH é utilizado o scrambler auto-sincronizável $x^{43}+1$. Este polinómio foi escolhido por minimizar a multiplicação de erros (dois) introduzido por este tipo de scrambler.

A operação deste scrambler em relação ao diagrama de estados de delimitação de célula é o seguinte:

- O scrambler opera somente sobre os bits do campo de informação
- Durante os cinco octetos do cabeçalho, a operação do scrambler é suspensa
- No receptor, no estado HUNT o descrambler é desactivado
- No receptor, nos estados PRESYNCH e SYNCH o descrambler é activado durante 384 bits, igual ao comprimento do campo de informação, sendo novamente desactivado durante os próximos 40 bits, correspondentes ao presumido cabeçalho seguinte.
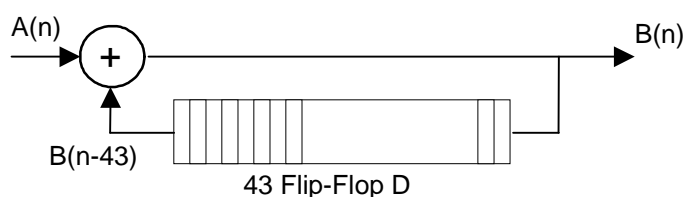
Fig. 5.7 - Diagrama de implementação do Scrambler

Na figura 5.8 é apresentado o diagrama de implementação do Descrambler.
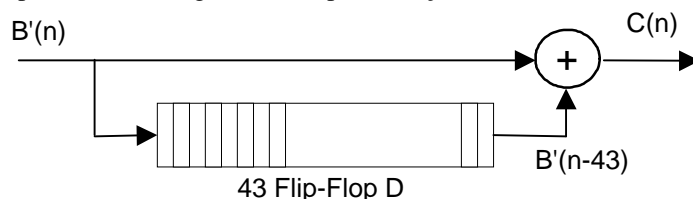
Fig. 5.8 - Diagrama de implementação do Descrambler

Como se pode verificar pelas figuras anteriores, o scrambler e o descrambler executam operações complementares, como se pode facilmente demonstrar. Pode escrever-se que:

Descrambler: $C(n) = B'(n) + B'(n-43)$ (+ = soma módulo 2)
Scrambler: $B(n) = A(n) + B(n-43)$

Não havendo erros de transmissão, a saída do Scrambler é igual à entrada do Descrambler, pelo que igualando $B'(n) = B(n)$ e substituindo B(n) pela expressão do scrambler, obtem-se:

$$C(n) = (A(n) + (B(n-43)) + B(n-43) = A(n) + (B(n-43) + B(n-43)) = A(n)$$

Podemos então concluir que para n> 43 a saída do Descrambler é igual à entrada do Scrambler:

Pode-se demonstrar que em caso de erro de um bit, à saída do Descrambler aparecem 2 bits de erro separados de 43 bits.

Exemplifiquemos o funcionamento do Scrambler descrambler com o seguinte sequência de entrada:

A(n)	0000**111**000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
B(n-43)	00000000000000000000000000000000000000000000000**111**00000000000000000000
B(n)	0000**111**0000000000000000000000000000000000000000**111**00000000000000000000
B'(n-43)	00000000000000000000000000000000000000000000000**111**00000000000000000000
C(n)	0000**111**000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000

5.1.4. Adaptação da trama de transmissão

A subcamada TC tem também como função adaptar o fluxo de células à estrutura da trama utilizada pelo sistema de transmissão. Exemplificando com a interface física de 2,048 Mbit/s, designada habitualmente por interface E1, a adaptação das células à trama física de transmissão é definida na recomendação G.804 do ITU-T, tal como se mostra na figura 5.9.

Fig. 5.9 - Mapeamento de células ATM na intreface física E1

A interface E1 com o ritmo de 2,048 Mbit/s tem uma trama estruturada em 32 slots de um octeto cada, sendo o slot 0 reservado para sincronismo de trama e o slot 16 em geral utilizado para sinalização. Como se mostra na figura, as células ATM ocupam os slots 1 a 15 e 17 a 31, não havendo contudo alinhamento entre as células ATM e as tramas físicas.

5.1.5. Geração/recuperação de trama de transmissão

A geração e recuperação da trama de transmissão é específica de cada interface física, sendo utilizadas várias tramas físicas já normalizadas, tendo outras sido definidas especificamente para utilização em ATM.

De entre as interfaces físicas já existentes salientam-se as interfaces definidas na hierarquia de transmissão digital plesiócrona PDH, nomeadamente a E1 (2,048 Mbit/s) e a E3 (34,368 Mbit/s). De importância crescente é a hierarquia de transmissão digital síncrona, de que se destaca a interface STM-1 a 155.52 Mbit/s e a STM-3 a 622,08 Mbit/s. Outras interfaces utilizadas em ATM e especificadas pelo ATM Forum têm os ritmos de 25,6 Mbit/s e 100 Mbit/s.

Estão em fase de especificação interfaces ATM que não utilizam qualquer trama física de transmissão, sendo transmitidas directamente para a linha as células ATM.

5.2. Subcamada dependente do meio físico

No que respeita à subcamada dependente do meio físico, a realização das suas funções está inteiramente dependente do meio de transmissão utilizado

São as seguintes as principais funções efectuadas pela subcamada dependente do meio físico:

- Codificação/descodificação de linha de transmissão
- Geração/Recuperação do relógio e dados da linha
- Adaptação de impedância de linha
- Conversão electro-óptica

Analisam-se em seguida as funções das subcamadas PM e TC para as várias interfaces ATM actualmente definidas.

5.3. Interfaces ATM

A configuração de referência do ITU-T correspondente à rede nas instalações do utilizador é derivada da utilizada na RDIS de banda estreita, conforme ilustrado na figura 5.10.

Fig. 5.10 - Configuração de referência para a interface utilizador-rede

A interface utilizador-rede é definida no ponto de referência TB. Nesta configuração de referência existem cinco grupos funcionais: B-NT1, B-NT2, B-TE1, B-TE2 e B-TA.

O grupo funcional Terminação de Rede 1 (B-NT1) está localizado nas instalações do utilizador mas na Europa pertence ao operador de telecomunicações. E' o elemento final na linha de transmissão para a rede, englobando os elementos necessários para garantir o funcionamento correcto da ligação da instalação do utilizador ao ponto TB.

O B-NT1 só inclui funções da camada física, nomeadamente a terminação da linha de transmissão, interface de transmissão e funções de operação e manutenção.

O grupo funcional Terminação de Rede 2 (B-NT2) é o núcleo da rede na instalação do utilizador. O B-NT2 pode desempenhar as funções de concentrador, multiplexer/demultiplexer ou de comutador privado, podendo neste último caso ter uma implementação concentrada ou distribuída. O B-NT2 engloba não só funções da camada física, mas também das camadas superiores.

O equipamento terminal de tipo 1 (B-TE1) será um terminal compatível com as características ATM da interface SB, enquanto que o equipamento terminal de tipo 2 (TE2) não possui essa compatibilidade, necessitando de um Adaptador de Terminal (B-TA) para se poder ligar a SB.

Três pontos de referência existem na configuração: R, SB e TB. As características de interface em R dependem do tipo de TE2 que estiver a ser adaptado para ATM. No que respeita a SB e a TB, ambos poderão ter um ritmo de 155,520 ou 622,080 Mbit/s, embora actualmente nas Recomendações esteja muito mais avançada a definição das características básicas para 155,520 Mbit/s do que para 622.080 Mbit/s.

Em TB, para 155,520 Mbit/s quer interfaces ópticas quer eléctricas são recomendadas. A solução escolhida depende da distância a ser coberta e de requisitos do utilizador. Em qualquer dos casos será feita uma ligação ponto a ponto.

As características de SB, para o ritmo de 155,520 Mbit/s ainda não estão completamente definidas e embora seja desejável uma compatibilidade das características em SB e TB, de modo a que se possa ligar directamente equipamento terminal em TB, essa compatibilidade ainda não foi acordada ao nível do ITU-T.

O ATM Forum define na especificação da ATM UNI 3.1 duas interface utilizador-rede (UNI) ATM distintas, tal como se mostra na figura 5.11.

- **UNI Pública**: usada para interligar um utilizador ATM com um comutador ATM instalado numa rede pública.

- **UNI Privada**: usada para interligar um utilizador ATM com um comutador ATM privado, isto é, pertencente à rede privada de uma organização.
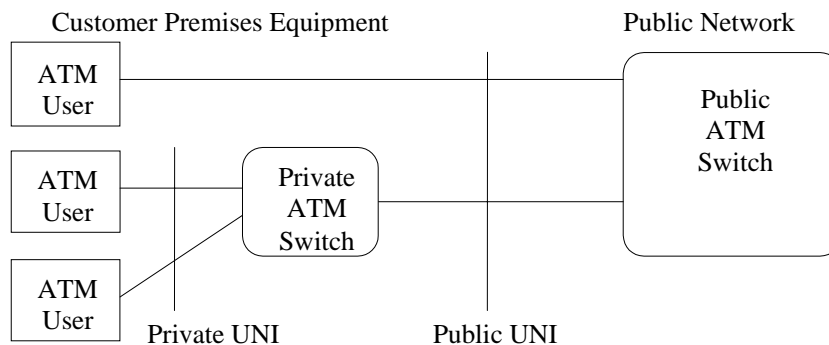
Fig. 5.11 - Configuração de referência da interface utilizador-rede de acordo com o ATM Forum

A principal distinção entre os dois tipos de UNI é no nível físico, através da utilização de diferentes meios físicos e distâncias. Ambos os tipos de interfaces utilizam a mesma especificação no nível ATM.

Na figura 5.12 apresentam-se outras interfaces ATM definidas pelo ITU-T e pelo ATM Forum.
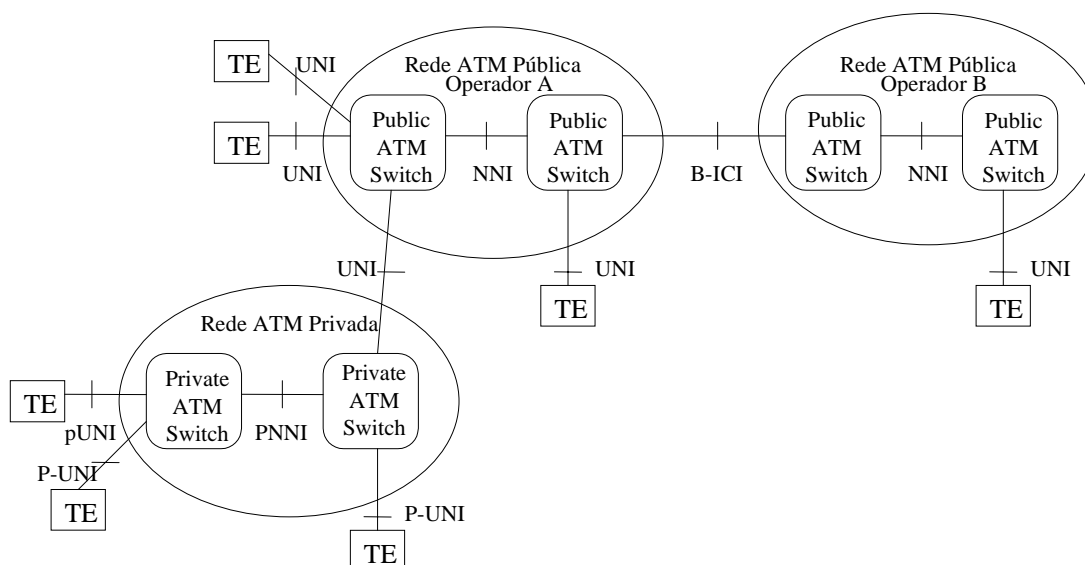
Fig. 5.12 - Interfaces ATM de acordo com o ATM Forum e ITU-T

Para além das interfaces UNI Privada (P-UNI) e UNI Pública (UNI), são visíveis na figura as seguintes interfaces ATM:

- **NNI (Network Node Interface)**: utilizada para interligação entre Nós de comutação ATM públicos.

- **PNNI (Private Network Node Interface)**: utilizada para interligação entre Nós de comutação ATM privados.

- **B-ICI (Broadband Intercarrier Interface)**: utilizada para interligação entre redes públicas de operadores diferentes.

O ATM Forum especificou na ATM UNI 3.1 os seguintes tipos de interfaces UNI:

- Interface física SDH STM-1 / SONET STC-3c a 155,52 Mbit/s (UNI pública/ privada)
- Interface física DS3 a 44,736 Mbit/s (UNI pública/privada)
- Interface física a 100 Mbits para fibra multimodo, baseada em FDDI (UNI privada)
- Interface física a 155,52 Mbits para fibra multimodo (UNI privada)
- Interface física E4 a 139,264 Mbit/s (UNI pública)

- Interface física E3 a 34,368 Mbit/s (UNI pública)
- Interface física a 155,52 Mbit/s sobre par entrançado UTP-5 (UNI privada)
- Interface física a 51,8 Mbit/s sobre par entrançado UTP-3 com sub-ritmos 25,92 Mbit/s e 12,96 Mbit/s (UNI privada)
- Interface física a 25,6 Mbit/s sobre par entrançado
- Interface física DS1 a 1,544 Mbit/s (UNI pública)
- Interface física E1 a 2,048 Mbit/s (UNI pública)

Analisaremos em seguida as principais características das diversas interfaces UNI, nomeadamente as principais funções do nível físico, sub-camadas PM e TC.

5.3.1. Interface física SDH STM-1 / SONET STC-3c

Esta interface é baseada nos standards SONET/SDH (Synchronous Digital Hierarchy), hierarquia STC-3c / STM-1, respectivamente para os EUA e para a Europa, com o ritmo de 155,52 Mbit/s. É uma interface óptica, aplicável em ambas as UNI, pública e privada.

As funções da camada física da UNI no plano do utilizador estão agrupadas em duas subcamadas, a TC e a PM, sendo indicadas na figura 5.13. A camada TC é independente das características do meio físico de transmissão.
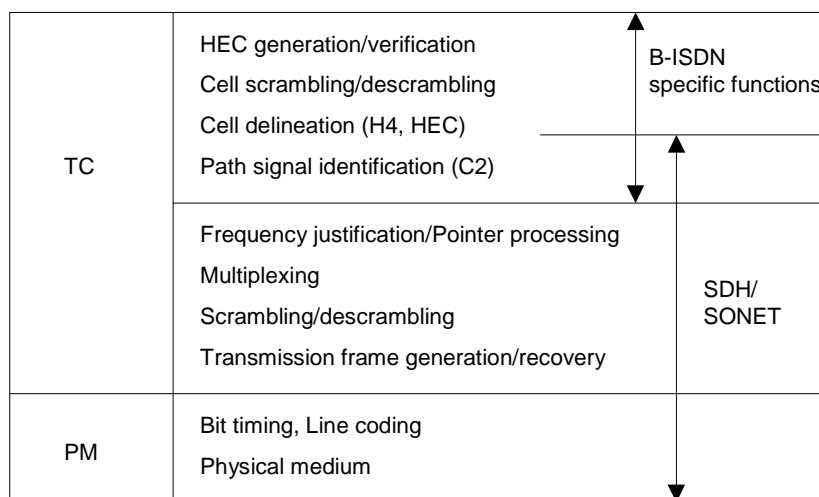
Fig. 5.13 - Funções da camada física da UNI STC-3c / STM-1 no plano do utilizador

As características físicas (PM) desta UNI estão definidas na ITU-T G.708, G.709. As características da subcamada TC estão definidas na ITU-T I.432.2.

Fig. 5.14 - Estrutura da trama STM-1

5.3.2. Interface física a 155,52 Mbits para fibra multimodo

Esta interface especifica no nível físico um ritmo de 155,52 Mbit/s para fibra multimodo, sendo especificada num documento do ITU-T, especificação do Fibre Channel Physical Layer. É aplicável na UNI privada.

TC	HEC Generation/Verification 125 µs clock recovery Cell delineation
PM	Bit Timing, Line coding Physical Medium

Fig. 5.15 - Funções da camada física a 155,52 Mbit/s para fibra multimodo no plano do utilizador

As características físicas (PM) desta UNI estão definidas pelo ITU-T. As características da subcamada TC estão definidas na ITU-T I.432.

5.3.3. Interface física E3 a 34,368 Mbit/s

Esta interface é baseada nos standards E3 da hierarquia PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), com o ritmo de 34,368 Mbit/s, para a Europa. É aplicável em ambas as UNI, pública e privada.

Para transporte de células ATM sobre PDH foi desenvolvida a Recomendação do ITU-T G.804, "ATM cell mapping into plesiochronous digital hierarchy (PDH)".
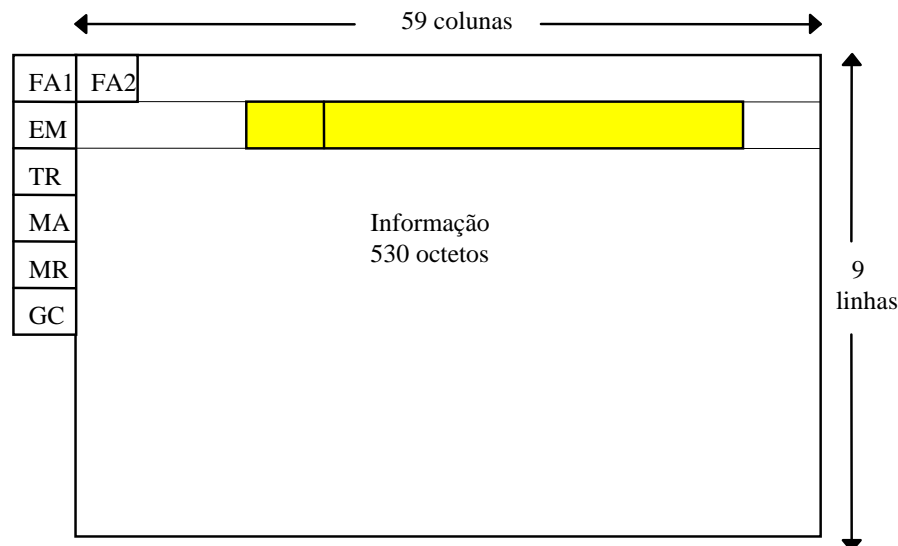
Fig. 5.16 - Estrutura da trama de 34,368 Mbit/s

5.3.4. Interface física a 25,6 Mbit/s sobre par entrançado

Esta interface é baseada no standard de transmissão do Token Ring, com o ritmo de 25,6 Mbit/s. É aplicável na UNI privada.

TC	HEC Generation/Verification Cell Scrambling/Descrambling Line Coding/Decoding Cell Delineation
PM	Bit Timing Physical Media Connectors

Fig. 5.17 - Funções da camada física da UNI a 25,6 Mbit/s no plano do utilizador

As características físicas (PM) e da subcamada TC desta UNI estão definidas na especificação AF-PHY-0040.000 - "Physical Interface Specification for 25,6 Mbps over Twisted Pair Cable" do ATM Forum e na ETS 300 811 do ETSI.

O código de linha utilizado é o 4B5B, de que resulta um ritmo de símbolos na linha de 32 Mbaud (25,6 M x 5/4). A distância máxima alcançada com par entrançado UTP-5 é de 100 metros.

O código 4B5B utilizado é o indicado na tabela seguinte.

Tabela 5.1 - Tabela de símbolos do código 4B/5B da camada física da UNI a 25,6 Mbit/s

Dados	Símbolo	Dados	Símbolo
0000	10101	1000	10010
0001	01001	1001	11001
0010	01010	1010	11010
0011	01011	1011	11011

0100	00111	1100	10111
0101	01101	1101	11101
0110	01110	1110	11110
0111	01111	1111	11111
		ESC (X)	00010

Este código tem várias propriedades de transmissão interessantes, de que se destacam:

- Média de 3 transições de nível em cada elemento de 5 símbolos
- A codificação/descodificação não é afectada pela incorporação de *scrambler*
- A sequência do mesmo símbolo (run length) é limitada a <= 5
- A diferença 1/0 nunca excede +/- 1.

A saída do codificador 4B/5B é codificada utilizando o código NRZI. De acordo com este código a ocorrência de um 1 lógico provoca a transição de nível da linha, enquanto o 0 mantém o mesmo nível, tal como se mostra na figura seguinte.
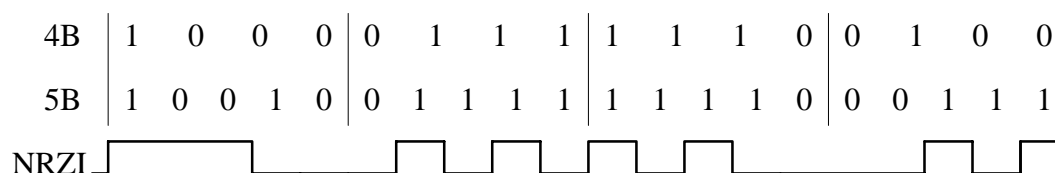
Fig. 5.18 - Exemplo de diagrama temporal da camada física da UNI a 25,6 Mbit/s

Cada célula de 53 octetos é precedida de um octeto de comando, formando células com o comprimento de 54 octetos. Estão definidos 2 comandos de início de célula:

- X_X (escape - escape : 00010 00010) : Início de célula com reset de scrambler/descrambler
- X_4 (escape - 4 : 00010 00111) : Início de célula sem reset de scrambler/descrambler

Está definido um terceiro octeto de comando designado X_8 (escape - 8 : 00010 10010) indicador de marca temporal de 8 KHz. Este octeto é gerado quando um impulso de 8 KHz é detectado, tendo prioridade sobre toda a actividade da linha (octetos de dados ou de comandos). Este octeto é transmitido imediatamente quando o impulso de sincronismo é detectado, interrompendo momentaneamente a transmissão da célula no fim do octeto em curso de transmissão.
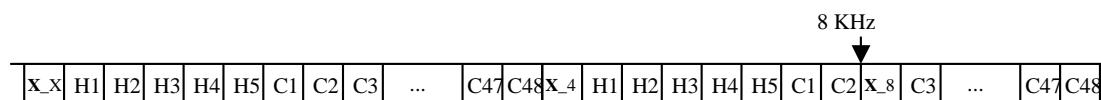
Fig. 5.19 - Exemplo de diagrama temporal da camada física da UNI a 25,6 Mbit/s

O diagrama de blocos do emissor da interface está representado na figura seguinte.
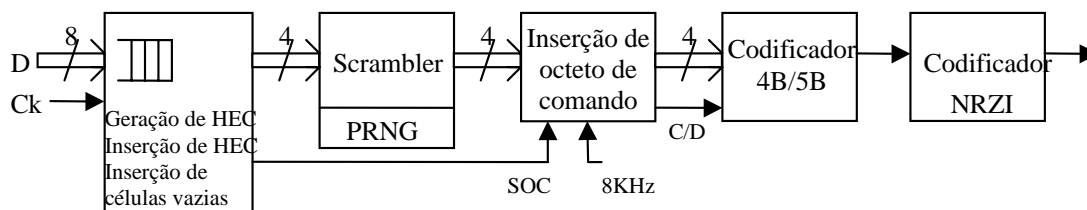
Fig. 5.20 - Diagrama de blocos do emissor da UNI a 25,6 Mbit/s

Os dados provenientes do nível SAR são memorizados numa FIFO de transmissão no módulo de Geração e Inserção de HEC e de inserção de células vazias. Os octetos constituintes das células são divididos em grupos de 4 bits (nibbles) e transferidos para o scrambler

O diagrama de blocos do receptor da interface está representado na figura seguinte.
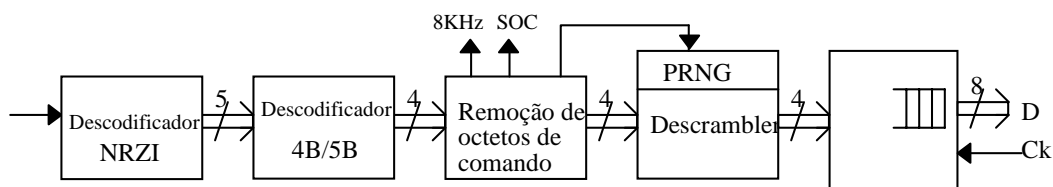
Fig. 5.21 - Diagrama de blocos do receptor da UNI a 25,6 Mbit/s

5.3.5. Interface física E1 a 2,048 Mbit/s

Esta interface é baseada nos standards E1 da hierarquia PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), com o ritmo de 2,048 Mbit/s, para a Europa. É aplicável em ambas as UNI, pública e privada.

A adaptação das células à trama física de transmissão é definida na recomendação G.804 do ITU-T, "ATM cell mapping into plesiochronous digital hierarchy (PDH)", Março 1993. As células ATM ocupam os slots 1 a 15 e 17 a 31, não havendo alinhamento entre as células ATM e as tramas físicas.

Na figura 5.24 apresenta-se como exemplo os protocolos utilizados na interface física ATM a 2,048 Mbit/s, tal como especificado pelo ITU-T e ATM Forum.

TC	I.432.3	Adaptação do ritmo de célula Geração/Verificação de HEC Delineamento de célula
	G.804	Adaptação das células ATM à trama física E1
	G.704	Geração/Recuperação da trama física E1
PM	G.703	Temporização de bit Meio Físico

Fig. 5.22 - Funções da camada física da UNI E1 a 2 Mbit/s no plano do utilizador

A adaptação do fluxo de células à estrutura da trama física de transmissão é definida na recomendação G.804 do ITU-T, tal como se mostra na figura 5.23.

0	1 – 15	16	17 – 31	Octeto
	ATM Header / Campo de Informação		Campo de Informação	Trama 0
	Campo de Informação		Campo de Informação / ATM Header	Trama 1
	Campo de Informação		Campo de Informação	Trama 2
	Campo de Informação		ATM Header / Campo de Informação	Trama 3
	Campo de Informação		Campo de Informação	Trama 4
	Campo de Informação / ATM Header		Campo de Informação	Trama 5
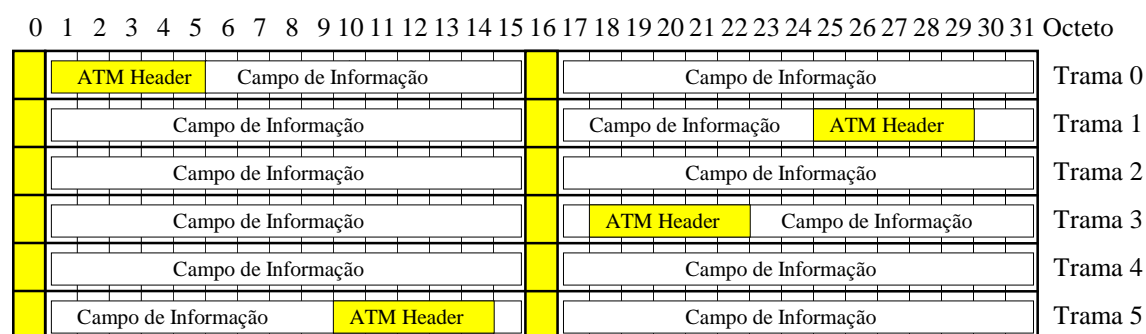
Fig. 5.23 - Mapeamento de células ATM na intreface física E1

A interface E1 com o ritmo de 2,048 Mbit/s tem uma trama estruturada em 32 slots de um octeto cada, sendo o slot 0 reservado para sincronismo de trama e o slot 16 em geral utilizado para sinalização. Como se mostra na figura, as células ATM ocupam os slots 1 a 15 e 17 a 31, não havendo contudo alinhamento entre as células ATM e as tramas físicas. Assim, embora a primeira célula ATM esteja alinhada com o início da trama 1, já nas seguintes células tal alinhamento se não verifica, tornando o alinhamento de células completamente independente da trama física de transmissão.

6. Camada de Adaptação ATM

O objectivo do modo de transferência ATM é obter uma RDIS de banda larga simples e flexível. Na realidade as funções da camada ATM satisfazem os requisitos de simplicidade e flexibilidade, atendendo a que a camada ATM fornece um serviço que é independente da estrutura da unidade de informação e do ritmo dos serviços de telecomunicações suportados.

Porém, estas características conduzem aos seguintes inconvenientes ao nível da camada ATM:

i) não há informação quanto à frequência de relógio correspondente ao serviço suportado;
ii) existe uma variação no atraso de propagação das diferentes células, devido aos diferentes tempos de propagação das células na rede;
iii) não existe informação sobre a delimitação das unidades de informação ao nível do serviço de telecomunicações suportado;
iv) células perdidas na rede, como resultado de um enchimento nos buffers ou de erro no identificador da célula, não são detectadas;
v) células mal inseridas, isto é, células que são entregues ao destino errado, não são detectadas.

Torna-se consequentemente necessário garantir para cada serviço de telecomunicações que a respectiva qualidade de serviço não é degradada, por causa dos referidos inconvenientes.

A função da camada de adaptação ATM (ATM Adaptation Layer - AAL) é garantir as soluções apropriadas para cada caso de modo a alcançar-se a qualidade de serviço requerida.

As características da AAL estão dependentes do serviço. Porém, em geral, as funções que a AAL deve executar para complementar o serviço da camada ATM são as seguintes:

i) recuperação da frequência de relógio correspondente ao serviço suportado, quando requerido pelas características do serviço;
ii) compensação da variação do atraso das células, quando requerido pelas características do serviço;
iii) mapeamento das unidades de informação da camada acima da AAL nos campos de informação das células;
iv) detecção da ocorrência de células perdidas e providenciar as medidas necessárias para diminuir o impacto desta situação na qualidade de serviço;
v) detecção da ocorrência de células mal inseridas e correspondente eliminação dessas células.

Embora a maneira precisa em que a AAL executa as funções referidas dependa do serviço, é um objectivo claro reduzir o número de diferentes protocolos AAL tanto quanto possível. Como há algumas funções comuns entre os diferentes serviços, eles podem ser agrupados num pequeno número de classes, correspondendo cada classe a um conjunto bem definido de funções básicas. Com o objectivo de se poder definir um número limitado de protocolos AAL, os serviços de telecomunicações podem-se dividir em quatro classes, conforme indicado na figura 6.1.

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Relação Temporal	Existente		Não existente	
Ritmo	Constante	Variável		
Modo de conexão	Com conexão (connection-oriented)			Sem conexão (connectionless)

Fig. 6.1 - Classificação dos serviços para AAL

A classificação dos serviços relativamente ao AAL é feita baseada em três parâmetros: relação temporal entre fonte e destino, ritmo e modo de conexão. Consideram-se que só existem quatro

combinações válidas dos parâmetros para este efeito, o que dá origem às definições de quatro classes de serviços, designadas de A a D. Como exemplos destas classes temos os seguintes:

- Classe A - telefonia, video e audio de ritmo constante
- Classe B - video e audio de ritmo variável
- Classe C - sinalização, transferência de ficheiros
- Classe D - mensagens "sem conexão".

Para cada uma destas classes é definido pelo menos um tipo de AAL.
O modelo geral da AAL é mostrado no diagrama da figura 6.2.

SSCS - Service Specific Convergence Sublayer
CPCS - Common Part Convergence Sublayer
SAR - Segmentation and Reassembly Sublayer
CS - Convergence Sublayer
CPS - Common Part Sublayer
SAP - Service Access Point
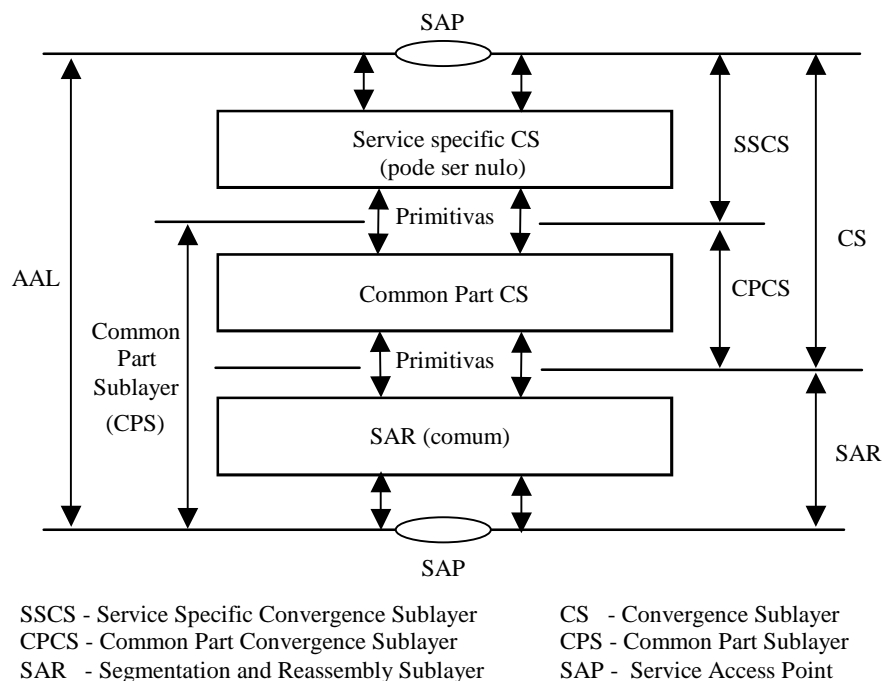
Fig. 6.2 - Estrutura do AAL

Conforme se indica na figura, a camada AAL é dividida em duas sub-camadas, SAR e CS. A subcamada CS pode ser por sua vez sub-dividida em duas: CPCS (Common Part CS) e SSCS (Service Specific CS).

Para cada tipo de AAL estas funções básicas são realizadas na subcamada Segmentação e Reassemblagem (SAR - Segmenting and reassembly sublayer). A subcamada acima da SAR é chamada subcamada de convergência (CS - Convergence Sublayer) e implementa as funções AAL complementares às básicas, requeridas para cada serviço específico dessa classe. Haverá portanto para cada tipo de AAL um CS distinto para cada serviço.

Estão definidos actualmente 4 tipos de AAL, tipo 1, 2, 3/4 e 5, designados abreviadamente por AAL1, AAL2, AAL3/4 e AAL5, que analisaremos em seguida.

7. AAL tipo 1

O AAL tipo 1 (AAL1) é especificado na recomendação I.363.1 (B-ISDN ATM Adaptation Layer Type 1 Specification) do ITU-T. São especificadas nesta recomendação as subcamadas SAR e CS, definidas atrás na figura 6.2.

O AAL1 é utilizado para serviços de ritmo constante com relação temporal entre a fonte e o destino. As principais funções do serviço proporcionado pelo AAL1 ao utilizador são as seguintes:

- Transferência de unidades de dados com ritmo constante e a sua entrega no destinatário com o mesmo ritmo;
- Transferência de informação temporal entre fonte e destinatário;
- Transferência de estrutura de informação entre fonte e destinatário;
- Indicação de informação perdida ou errada não recuperada pelo AAL1, se necessário.

7.1. Sub-camada SAR

As principais funções da sub-camada SAR do AAL1 são as seguintes:

- No emissor o SAR aceita blocos de 47 octetos da sub-camada superior (CS), junta-lhe um octeto de cabeçalho de SAR e envia os 48 octetos para o nível ATM;

- No receptor o SAR recebe blocos de 48 octetos da camada ATM, separa o octeto de cabeçalho de SAR e envia os 47 octetos restantes para a sub-camada superior CS;

- O SAR recebe do CS um campo de sequência de contagem (SC) e um bit de função CSI, os quais são inseridos no cabeçalho do SAR para envio ao CS do destinatário. O campo SC pode ser utilizado pelo CS para detectar céluals perdidas ou mal inseridas.

- O SAR proteje os campos SC e CSI contra erros de transmissão com um campo de detecção e correcção de erros. No receptor o SAR indica ao CS se os campos SC e CSI têm erros ou não.

A unidade de dados de protocolo ("Protocol Data Unit"-PDU) ao nível da SAR do AAL1 é a indicada na figura 7.1.
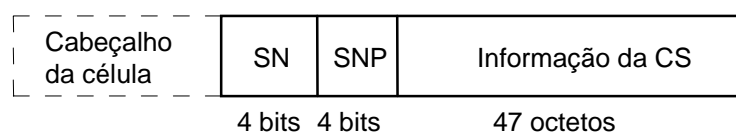
Fig. 7.1 - PDU da SAR para AAL tipo 1

O primeiro octeto do campo de informação da célula é utilizado para a inserção de um número de sequência ("Sequence number" - SN) e do respectivo campo de protecção ("Sequence Number Protection" - SNP), baseado no polinómio gerador G(x) = x3+x+1 com um bit extra de paridade. A existência do campo SN permite determinar na recepção se houve células perdidas ou mal inseridas durante a transmissão. Os restantes 47 octetos transportam a informação da subcamada superior, CS.

Uma análise mais detalhada dos campos SN e SNP é apresentada na figura 7.2.

SN - Sequence Number (4 bits)
SC - Sequence Count
SNP - Sequence Number Protection (4 bits)
CSI - Convergence Sublayer Indicator
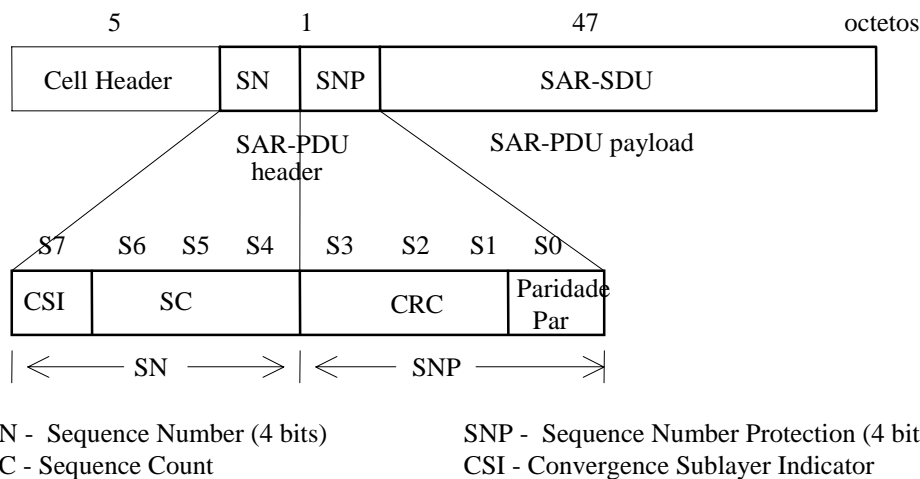
Fig. 7.2 - Formato da SAR-PDU para AAL type 1

O campo SN é constituído por dois sub-campos, o CSI (Convergence Sublayer Indicator) e o SC (Sequence Count). O bit CSI pode ser utilizado pela camada superior nomeadamente para indicar o início de uma estrutura de dados multi-célula. O campo SC é utilizado como contador de células, módulo 8 (0 a 7), sendo incrementado por cada célula de dados transmitida, o que permite detectar células perdidas ou mal inseridas.

O campo SNP é também constituído por dois sub-campos, o CRC (Cyclic Redundancy Check) e o bit de Paridade par. O campo CRC de três bits contém o resto da divisão módulo 2 pelo polinómio gerador x^3+x+1 do produto x^3 multiplicado pelo conteúdo do campo SN.

Conjuntamente os dois sub-campos SN e SNP permitem corrigir um bit de erro do cabeçalho do SAR ou detectar vários bits de erro, como se mostra na figura 7.3.
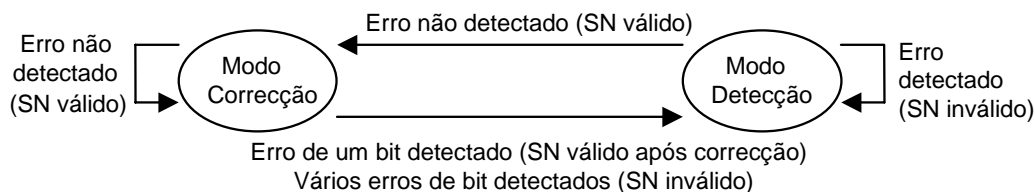
Fig. 7.3 - Modos de operação do receptor baseados no SNP

O receptor examina o campo SNP para detecção de erros do cabeçalho do SAR. Se estiver no Modo Correcção, só corrige erros de um bit e passa para o Modo Detecção. Se estiver no Modo Detecção todos os cabeçalhos com erros detectados são declarados com SN inválido e continua no mesmo modo. Se estiver no Modo Detecção e não houver erros, o receptor muda para o Modo Correcção.

As operações a executar no Modo Correcção são sintetizadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Operações no Modo Correcção

Sindroma CRC	**Paridade**	**Acção no SN+SNP currente**	**Próximo estado**
Zero	Não há violação	Não há acção correctiva. SN é válido	Continua no Modo Correcção
Não-Zero	Violação	Correcção de um bit basedo no sindroma. SN é válido	Muda para o Modo Detecção
Zero	Violação	Corrige o bit de paridade. SN é válido	Muda para o Modo Detecção
Não-zero	Não há violação	Não há acção correctiva: erros múltiplos não são corrigíveis. SN é inválido	Muda para o Modo Detecção

As operações a executar no Modo Detecção são sintetizadas na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Operações no Modo Detecção

Sindroma CRC	**Paridade**	**Acção no SN+SNP currente**	**Próximo estado**
Zero	Não há violação	Não há acção correctiva. SN é válido	Muda para o Modo Correcção
Não-Zero	Violação	Não há acção correctiva. SN é inválido	Continua no Modo Detecção
Zero	Violação	Não há acção correctiva. SN é inválido	Continua no Modo Detecção
Não-zero	Não há violação	Não há acção correctiva. SN é inválido	Continua no Modo Detecção

7.2. Sub-camada CS de AAL1

As principais funções da sub-camada CS são as seguintes:

- Agrupamento da informação em blocos de 47 octetos no emissor para envio para o SAR e respectiva operação inversa no receptor;
- Processamento da variação do atraso das células, de modo a entregar ao nível superior um ritmo constante;
- Recuperação da frequência de relógio correspondente ao serviço suportado, quando requerido pelas características do serviço;
- Detecção da ocorrência de células perdidas e implementação das medidas necessárias para diminuir o impacto desta situação na qualidade de serviço;
- Detecção da ocorrência de células mal inseridas e correspondente eliminação dessas células.

7.2.1. Processamento da sequência de células

No emissor são atribuídos valores consecutivos do SC, de 0 a 7, a cada célula pertencente a um determinado circuito virtual. No receptor o número de sequência é testado com vista a testar a sequência das células recebidas. Se houver uma violação da ordem de envio, há um processamento da sequência de valores de SN recebidos com vista a determinar o tipo de erro que ocorreu.

Analisam-se em seguida as principais ocorrências na recepção de células e as acções a tomar em cada caso, tal como indicado na figura 7.4.
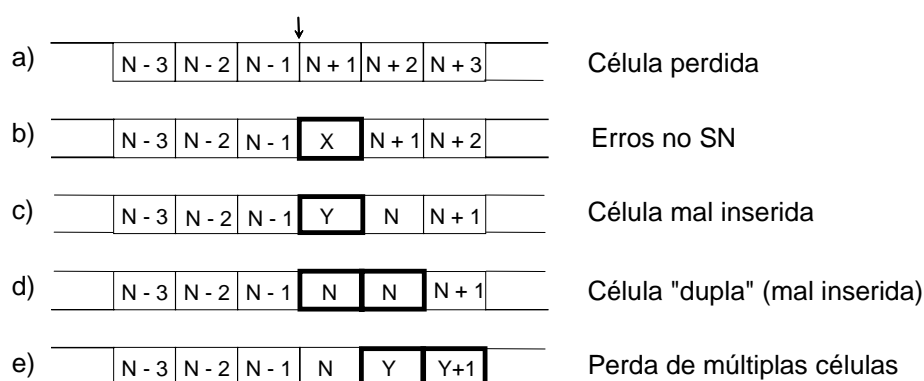
Fig. 7.4 - Possíveis erros na recepção de células AAL1

a) **Célula perdida**: se faltar uma célula com número de sequência (SC) igual a N, a célula perdida é substituída por outra com um conteúdo predefinido *(dummy)*.

b) **Célula com erro no número de sequência**: se entre as células N-1 e a N+1 uma célula com SC igual a Y for recebida, é provável que o SC tenha sido corrompido de N para Y e portanto a célula é considerada correcta e é aceite.

c) **Célula mal inserida**: se entre as células N-1 e N uma célula com SC igual a X for recebida, a célula é considerada mal inserida e é eliminada.

d) **Duas células seguidas com o mesmo número de sequência**: se duas células com o mesmo SC forem recebidas em seguida, há uma probabilidade igual de qualquer delas ser a correcta, sendo aceite a primeira para simplificar o controlador.

e) **Múltiplas células perdidas**: se houver um salto do SC de X para Y com intervalo maior que três, há uma perda elevada de células e o receptor é reinicializado. Se a diferença for igual ou inferior a 3, são inseridas células *dummy*.

Na recomendação I.363.1 do ITU-T são definidas funções específicas para cada um dos quatro tipos de serviço a seguir indicados:

- Funções do CS para transporte de circuitos
- Funções do CS para transporte de sinais de video
- Funções do CS para transporte de sinais na banda de voz
- Funções do CS para transporte de sinais de audio de alta qualidade

O primeiro tipo de serviço, designado habitualmente por Emulação de Circuitos consiste no transporte através de uma rede ATM de circuitos assíncronos e síncronos de ritmo constante (CBR - Constant Bit-Rate). De entre os circuitos assíncronos, isto é, circuitos que não estão controlados por um relógio de rede, salientam-se pela sua importância os ritmos definidos na recomendação G.702 para a hierarquia de transmissão PDH, nomeadamente os ritmos são de 2,048 e 34,368 Mbit/s. De entre os circuitos síncronos salientam-se os circuitos com ritmos de 64, 384, 1536 e 1920 Kbit/s, utilizados nomeadamente nos serviços de suporte RDIS.

7.2.2. Método de correcção de células perdidas

Em serviços que requeiram uma alta qualidade e consequentemente uma muito baixa taxa de erros, como é o caso de audio de alta fidelidade e video, são utilizadas funções adicionais de correcção de erros na sub-camada CS. Estes métodos são baseados em técnicas combinadas de entrelaçamento e de FEC (Forward Error Correction).

Assim, exemplificando para o vídeo de alta qualidade é utilizado um código corrector de erros Reed-Solomon (128,124), o qual por ter um campo FEC de 4 octetos (128-124) permite corrigir um máximo de dois octetos com erros. O formato da trama FEC é mostrada na figura 7.5.
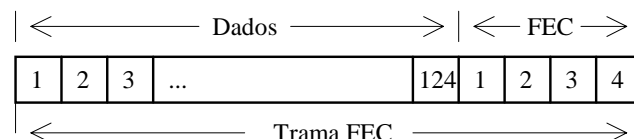
Fig 7.5 - Formato do trama FEC

Na emissão a cada bloco de dados de 124 octetos é adicionado um campo FEC de correcção de erros de 4 octetos, formando tramas de 128 octetos.

De modo a utilizar os campos do cabeçalho do SAR para alinhamento das tramas FEC, define-se um bloco FEC como um conjunto de 47 tramas FEC, em que a primeira trama FEC marca o início do bloco, com SC=0 e CSI=1, tal como se mostra na figura 7.6.

Fig 7.6 - Formato do bloco FEC

O campo FEC das tramas por si só tem capacidade de corrigir até 2 octetos com erro, o que é suficiente para corrigir a grande maioria dos erros de transmissão no campo de informação, contudo não tem capacidade para corrigir erros resultantes de perda de células, apenas podendo detectar a perda de células.

Para conseguir protecção em caso de perda de células utiliza-se simultaneamente com o FEC um outro mecanismo chamado entrelaçamento (de bit ou octeto), o qual é baseado no envio para a rede ATM de informação entrelaçada de diferentes tramas FEC, de modo a que no caso de se perder uma célula, só se perca um reduzido número de bits ou octetos de cada bloco de informação, permitindo assim a sua recuperação total.

Na figura 7.7 exemplifica-se a utilização de uma matriz de entrelaçamento de octetos aplicável às tramas FEC que analisamos anteriormente.
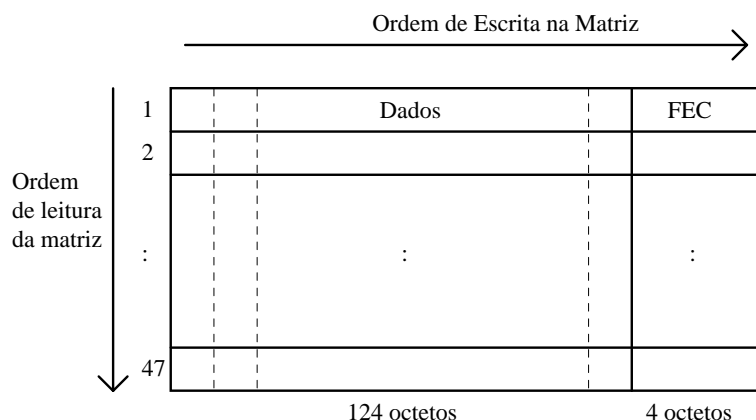
Fig 7.7 - Estrutura e formato da matriz de entrelaçamento

As tramas FEC são escritas em linhas sucessivas da matriz de entrelaçamento, sendo a leitura dos dados e a sua inserção em células ATM é feita coluna a coluna, em que cada coluna de 47 octetos corresponde exactamente ao campo de informação do SAR de AAL1.

Assim, se se perder uma célula ATM, correspondente a perder uma coluna da matriz, só se perde um octeto de cada trama FEC, pelo que a informação é completamente recuperada. De facto, utilizando o código Reed-Solomon que vimos acima, podem-se perder até duas células em cada bloco de 47 células, tornando virtualmente imune a erros a informação do utilizador.

O método combinado de FEC e entrelaçamento é muito eficaz, tendo contudo o inconveniente de provocar um atraso de transmissão suplementar devido ao tempo de preenchimento da matriz, o que é particularmente grave para serviços de baixo ritmo, em que os tempos de preenchimento da matriz são mais elevados.

7.2.3. Método de transferência de informação estruturada

De acordo com ITU-T I.363.1 a sub-camada CS suporta qualquer estrutura fixa baseada em octetos para a transferência de dados estruturados. Quando a dimensão da estrutura é superior a um octeto, a CS utiliza um apontador para marcação do bloco estruturado. Deste modo, o payload do SAR-PDU tem dois formatos distintos, denominados formato P e Não-P, os quais são ilustrados na fig. 7.8.
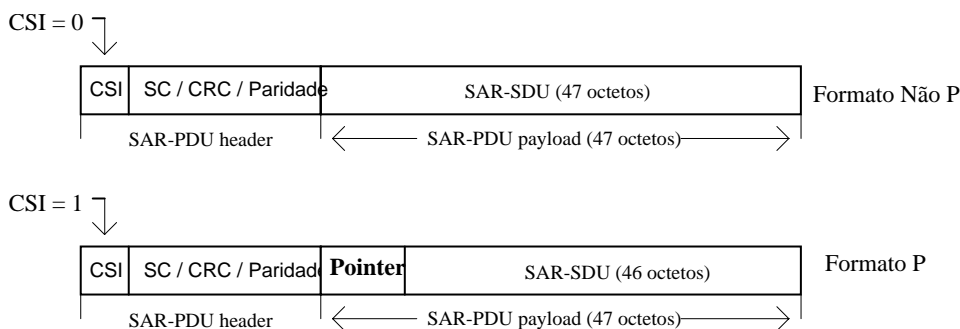
Fig 7.8 - Formatos do campo Pointer

Com o método SDT (*Structured Data Transfer*) o empacotamento da informação da AAL do utilizador no payload do SAR-PDU, na emissão do AAL CS, e a operação inversa de desempacotamento no lado da recepção são necessários para manter a integridade e sequencialidade de cada octeto da AAL do utilizador transferido entre a AAL CS e a AAL do utilizador.

Quando a dimensão do bloco é "1" octeto, o protocolo SDT gera apenas SAR-PDU no formato não-P. Para dimensões superiores a "1", o protocolo SDT recorre à utilização de apontadores, de modo a fornecer informação sobre a dimensão do bloco SDT uma vez em cada 8 SAR-PDU, correspondendo a um ciclo do contador sequencial.

a) Operações utilizando o formato não-P

Neste formato, o CS-PDU é preenchido com informação do utilizador. Este formato é utilizado se o valor do contador sequencial no cabeçalho do SAR-PDU tem os seguintes valores: 1, 3, 5 ou 7.

b) Operações utilizando o formato P

No formato P, o primeiro octeto do payload do SAR-PDU é preenchido com o campo do apontador. Os restantes octetos são preenchidos com informação do utilizador. Este formato poderá ser usado se o valor do contador sequencial no cabeçalho do SAR-PDU é 0, 2, 4, ou 6.

A figura 7.9 ilustra o formato do campo do apontador.
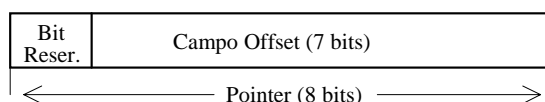
Fig. 7.9 - Formato do apontador

O campo Offset do apontador contém o valor em binário do número de octetos entre o fim do apontador e o início do próximo bloco estruturado. O offset está compreendido entre 0 e 93 inclusive. O valor 93 correspondente aos 46 octetos do payload do SAR-PDU corrente somado aos 47 octetos do payload do SAR-PDU seguinte. O valor de 127 é usado para indicar que o limite do bloco estruturado não se encontra no SAR-PDU corrente nem no seguinte.

O formato P é utilizado uma vez em cada ciclo, onde um ciclo corresponde a uma sequência de 8 SAR-PDUs consecutivos, com valores de contador entre zero e sete. O formato P é usado na primeira oportunidade num ciclo para apontar o início da fronteira do bloco estruturado. Caso num ciclo não exista o início ou fim de um bloco estruturado, então o formato P com o valor de 127 no apontador é utilizado na última oportunidade num ciclo, ou seja no contador sequencial com o valor de 6.

Se o início de uma estrutura de um bloco não está presente num ciclo, mas coincide com o início do próximo ciclo, então o formato P com um valor de offset de 93 é usado no SAR-PDU com o valor sequencial de 6. Neste caso, o formato P com o offset de "0" é usado no SAR-PDU com o valor sequencial de "0", no próximo ciclo.

Dá-se em seguida um exemplo da utilização do método de transferência de informação estruturada para o transporte de blocos de 40 octetos.
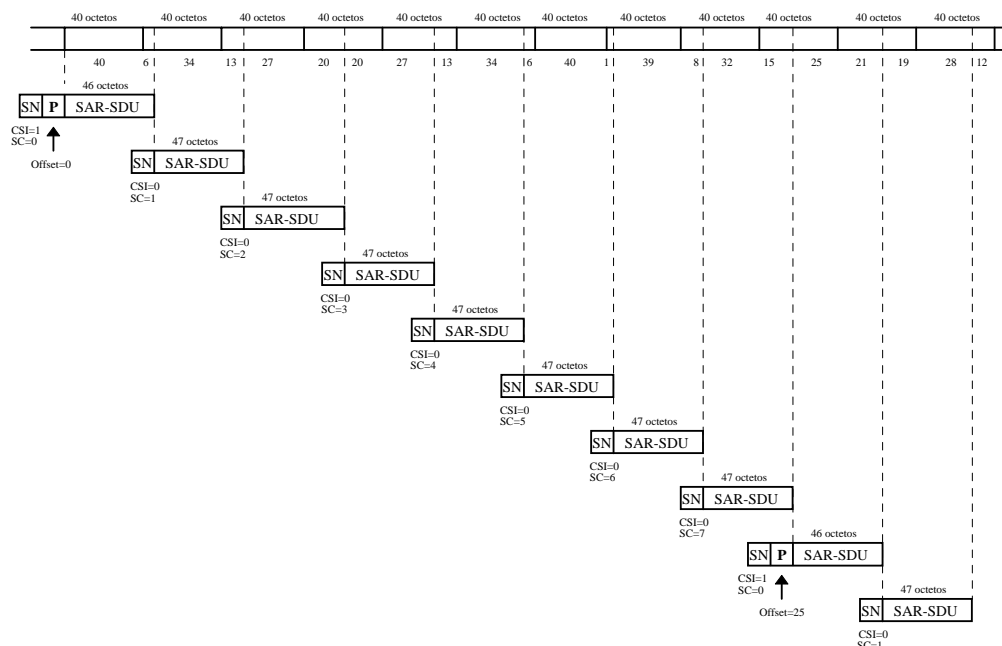
Fig. 7.10 - Exemplo de transferência de informação estruturada

7.2.4. Recuperação de relógio da fonte

A recuperação do sinal de relógio da fonte é um mecanismo da camada CS necessário no transporte de serviços CBR através de uma rede baseada no modo de transferência ATM.

A necessidade de recuperação do sinal de relógio deve-se, fundamentalmente, às pequenas diferenças na velocidade de transmissão que existem entre o relógio do emissor e o do receptor, e à natureza estatística da rede ATM, que introduz uma componente de *jitter* e *wander* no atraso de transmissão da célula através da rede, que tem uma influência negativa no desempenho de determinados serviços, em particular nos serviços CBR.

O *jitter* (tremura) e o *wander* (vagueio) são definidos como variações aleatórias de atraso de recepção de dados, consequência do atraso variável de recepção de células, devida aos níveis variáveis de atraso das células nas filas de espera existentes nos diversos comutadores (ou outros componentes da rede ATM). Para o ritmo de 2 Mbit/s o *jitter* é definido para frequências superiores a 20 Hz, enquanto o *wander* é definido para frequências abaixo de 20 Hz.

A principal função dum sistema de recuperação de relógio é gerar um relógio de serviço idêntico ao relógio usado pelo transmissor, o que significa um relógio com a mesma frequência instântanea, isto é, a mesma evolução temporal, respeitando as máximas variações que se encontram definidas internacionalmente.

Os métodos de recuperação do sinal de relógio podem ser realizados de diferentes maneiras e com recurso a vários algoritmos dos quais se salientam os seguintes:

- utilização de um relógio muito preciso no receptor, com uma frequência muito próxima da utilizada pelo emissor, contudo este método implica a perda de dados periodicamente devido aos desvios entre os dois relógios;
- utilização de estimativas da frequência do relógio emissor com base no ritmo de chegada de informação ao receptor. Estes métodos designam-se adaptativos e são caracterizados por não necessitarem de relógio comum entre a fonte e o destinatário.
- utilização de um relógio preciso sofrendo correcções periódicas com base em informação temporal transportada nas células ATM. Estes métodos são designados *Time Stamp* e necessitam de um relógio comum de referência na fonte e no destino

O primeiro método apresenta a vantagem de não requerer a transferência de qualquer informação adicional nos campos das células relativa a informação temporal, mas tem o sério inconveniente de poder originar erros devido ao facto das frequências dos relógios não serem idênticas. Outro inconveniente é o de os circuitos de relógio do emissor e do receptor serem bastante mais dispendiosos que outros métodos, devido à sua alta precisão, razões pelas quais esta solução é pouco utilizada.

O funcionamento do segundo e terceiro métodos são apresentados em seguida.

7.2.4.1. Métodos adaptativos

Os métodos adaptativos utilizam estimativas da frequência do relógio emissor com base no ritmo de chegada de informação, sendo por isso os que em princípio são mais sujeitos a desvios entre os relógios do emissor e do receptor, não apresentando contudo as desvantagens dos outros métodos já apresentados, como sejam circuitos de relógio dispendiosos, perda de dados, desperdício da largura de banda ou necessidade de um relógio comum no emissor e no receptor.

Os métodos adaptativos podem basear-se em vários tipos de mecanismos:

- Média deslizante baseada nos últimos N períodos de chegada de célula;
- Média deslizante interactiva com o último período de chegada de células;
- Função do nível de enchimento da FIFO - variação linear;
- Função do nível de enchimento da FIFO - variação não-linear.

Média Deslizante

Os algoritmos de Média Deslizante são extremamente simples em termos de concepção e apenas necessitam de componentes básicos na sua implementação. A ideia por detrás destes algoritmos é recorrer à informação directa que se obtém através da determinação dos diferentes períodos de tempo entre a chegada consecutiva de duas células (que varia devido aos atrasos aleatórios que as células sofrem na rede ATM, como já se analisou) para alterar o intervalo de tempo entre cada leitura de informação da FIFO, ou seja, produzir o relógio de leitura do *buffer* de dados.

Os sistemas de Média Deslizante obtiveram o seu nome derivado do processo de cálculo do período de leitura de informação da FIFO que se baseia na média aritmética, onde o nome deslizante se deve à variação do seu valor em função do último período de chegada de célula.

As técnicas adaptativas de média deslizante podem dividir-se em dois tipos básicos:

a) as baseadas nos N últimos períodos de chegada de célula guardando-os em N registos, apenas se descartando do valor do período de chegada mais antigo a cada ciclo do relógio de amostragem, armazenando o último valor obtido no Registo 1 enquanto todos os restantes são transferidos para o Registo $i + 1$;

b) as que possuem apenas dois registos, um que guarda o último valor do período de chegada determinado e outro para registar o último valor do período de leitura calculado, tendo o primeiro um peso unitário no cálculo da média deslizante e o segundo um peso (N-1) muito superior.

Função do nível de enchimento da FIFO

Nos métodos adaptativos até aqui descritos a adaptação era realizada em função do período de chegada de duas células consecutivas da rede ATM, no conjunto de técnicas agora em discussão a adaptação é feita com base na variação em torno do ponto médio do nível de enchimento da FIFO ou *buffer* de dados.

Neste tipo de métodos o receptor escreve a informação num *buffer* (FIFO) que depois é lido por um relógio local. O nível de enchimento do *buffer* é usado para controlar a frequência do relógio local. O controlo é realizado através da leitura continuada do nível de enchimento do *buffer*, que é utilizada para alimentar o VCO (Voltage Controled Oscillator) que gera o relógio local. O nível de enchimento do *buffer* deve ser mantido entre dois limites de maneira a impedir o seu esvaziamento (*underflow*) ou enchimento (*overflow*).

O método adaptativo não requer informação temporal explícita nem frequência de rede comum, sendo baseado no facto de que a quantidade de células transmitidas é uma indicação directa da frequência de transmissão da fonte, podendo ser usado no receptor para recuperar a frequência do relógio da fonte. Tomando a média das células recebidas sobre um período suficientemente longo, a

variação de atraso de células (CDV) é minimizada. O receptor escreve a informação das células recebidas num buffer e lê-as com o relógio local. No método adaptativo baseado no nível da FIFO de recepção, o nível da FIFO é usado para controlar a frequência do relógio local, através de uma monitorização contínua do nível da FIFO em redor da sua posição média. O nível da FIFO, depois de filtrado num filtro passa-baixo adequado, de muito baixa frequência, é usado para controlar um VCXO que gera a frequência do relógio local recuperado. O diagrama de blocos do modelo baseado no nível da FIFO é indicado na figura 7.11.
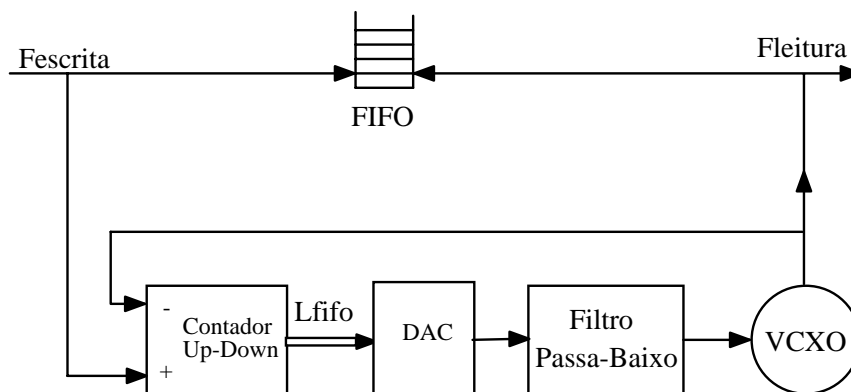
Fig. 7.11 - Diagrama de blocos do recuperador de relógio baseado no nível da FIFO

As técnicas adaptativas de Função do nível de enchimento da FIFO podem dividir-se em dois tipos básicos:

a) Função do nível de enchimento da FIFO - variação linear

O funcionamento linear deste método garante a implementação de um algoritmo simples que irá apenas depender directamente da variação linear do nível de enchimento da FIFO em torno do seu ponto médio (no capítulo seguinte entrar-se-á nos detalhes específicos desta técnica adaptativa de recuperação do sinal de relógio da fonte).

b) Função do nível de enchimento da FIFO - variação não-linear

A única alteração deste algoritmo fase ao anterior reside no seu funcionamento não-linear nas situações em que a FIFO se encontra quase-cheia ou quase-vazia. O procedimento não-linear consiste na aceleração do tempo de reacção do algoritmo, que ao diminuir drásticamente a velocidade de leitura da FIFO evita o seu esvaziamento (*underflow*) ou ao aumentar muito rapidamente o débito de leitura dos dados do *buffer* de informação garante o não-enchimento (*overflow*) do mesmo. Saliente-se a grande dificuldade que este método levanta pois torna muito díficil o respeito dos limites impostos ao *jitter* e ao *wander* de saída do sistema.

7.2.4.2 Métodos Time Stamp

No método *Time Stamp* é efectuado um ajuste periódico da frequência do relógio receptor com base em informação temporal enviada pelo emissor. O método *Time Stamp* mais conhecido e escolhido pelo ITU-T foi o SRTS - *Synchronous Residual Time Stamp* que se encontra descrito na Rec. I.363.

O método SRTS usa o *Residual Time Stamp* (RTS) para obter a informação conveniente sobre a diferença de frequência entre o relógio comum de referência que se obtem da rede e o relógio de serviço. Considera-se que o mesmo relógio derivado da rede encontra-se disponível tanto no transmissor como no receptor. O método SRTS consegue corresponder às especificações do *jitter* da hierarquia 2,048 Mbit/s contidas na Rec. G.823. O método SRTS será descrito com o recurso à seguinte nomenclatura:

fs - frequência do relógio de serviço;
fn - frequência do relógio da rede, por exemplo 155,52 MHz;
fnx -frequência do relógio derivado da rede, fnx = fn/x, onde *x* é um inteiro a definir;
N - período do RTS em ciclos do relógio de serviço de frequência fs;
T - período do RTS em segundos;
M (Mnom, Mmax, Mmin) - número de ciclos fnx com um período RTS (nominal, máximo,

mínimo);

Mq - o maior inteiro menor ou igual a *M*.

O esquema de funcionamento do conceito SRTS encontra-se exemplificado na fig. 7.12.
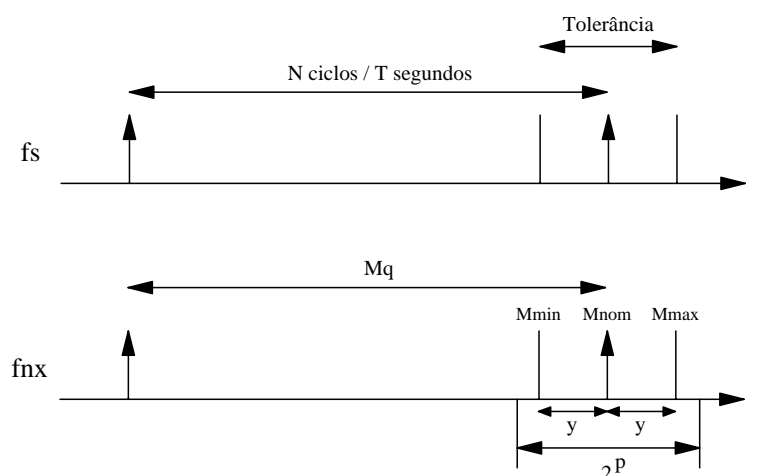
Fig. 7.12 - Ilustração do conceito do método SRTS

Durante um espaço de tempo fixo T medido através de N ciclos do relógio de serviço, o número de ciclos Mq do relógio derivado da rede é obtido no transmissor. Se Mq for transmitido para o receptor, o relógio de serviço da fonte pode ser reconstruido pelo receptor, visto possuir a informação necessária para o fazer: fnx, Mq e *N*. Contudo, Mq é composto por uma parte nominal e outra residual, a primeira Mnom corresponde ao número nominal de ciclos fnx em *T* segundos e é fixo para cada serviço; a parte residual contém a informação sobre a diferença de frequência e sobre o efeito da sua quantificação, o que implica ser um valor variável. Sendo a parte nominal de Mq constante, pode-se considerar que ela está disponível no receptor, havendo só necessidade de transportar para o receptor a parte residual de Mq.

Um processo simples de representar a parte residual de Mq é através do RTS, cujo método de geração está descrito na fig. 7.13.
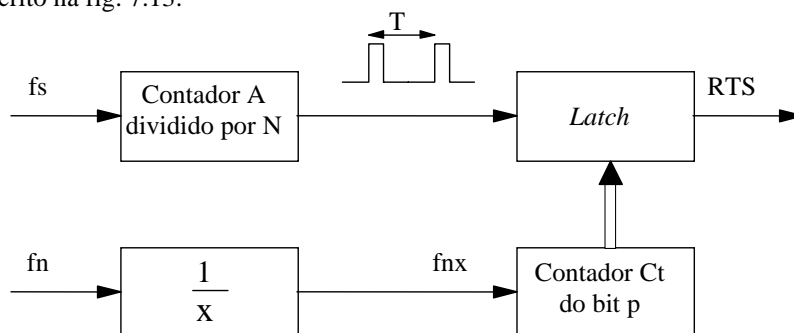
Fig. 7.13 - Processo de geração do RTS (*Residual Time stamp*)

O Contador Ct é um contador do bit P que é continuamente sincronizado pelo relógio derivado da rede. O relógio de saída Ct é amostrado todos os *N* ciclos do relógio de serviço. O bit P amostrado é o *Residual Time stamp* (RTS).

Com o conhecimento do RTS e da parte nominal de Mq no receptor, obtem-se a especificação completa do Mq, que é utilizado para produzir o sinal de tempo de referência para a Malha de Captura de Fase (PLL - *Phase Locked Loop*) que por sua vez fornece o relógio de serviço no receptor. A dimensão do RTS é de 4 bits e a frequência do relógio da rede é de fn = 155,52 MHz.

Como se mostra na figura 7.14, o diagrama de blocos no transmissor engloba um divisor da frequência de 2,048 Mbit/s da fonte por *N* = 3008 (8x47x8), que corresponde a 8 SAR-PDU's, gerando um intervalo de 1,47 ms (3008 / 2,048 MHz). A saída deste divisor é usada para amostrar o valor de RTS obtido da frequência derivada da rede de 2,43 MHz e do contador de 4 bits.
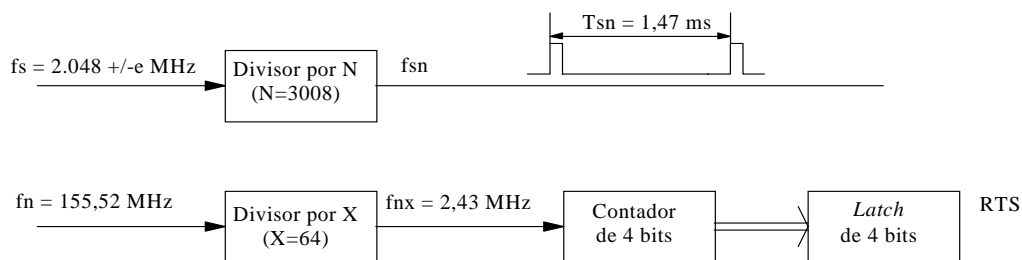
Fig. 7.14 - Exemplo de um diagrama de blocos no transmissor

Exemplifica-se o funcionamento do método SRTS considerando que o serviço tem a frequência nominal de 2,048 MHz e que varia entre 2.045 MHz e 2.051 MHz, e que Tsn = 3008*fs e Tnx = 64*fn.

Fs	Ts / Tnx	Binário
2,045 MHz	2531	10011110 **0011**
2,046 MHz	2532	10011110 **0100**
2,047 MHz	2534	10011110 **0110**
2,048 MHz	2535	10011110 **0111**
2,049 MHz	2536	10011110 **1000**
2,050 MHz	2538	10011110 **1010**
2,051 MHz	2539	10011110 **1011**

Verifica-se que os bits de maior peso do quociente Ts / Tnx são constantes, variando apenas os 4 bits de menor peso, os únicos que portanto precisam de ser transmitidos.

Os 4 bits do RTS são transmitidos num fluxo sequencial de bits fornecido pelo bit CSI em sucessivos cabeçalhos da SAR-PDU's. O módulo de contagem base 8 do SC fornece a estrutura da trama sobre este fluxo sequencial de bits, a partir do qual apenas os 4 bits CSI dos SC ímpares (1, 3, 5 e 7) são usados para o RTS. O bit de maior peso do RTS é colocado no campo CSI correspondente ao valor 1 do contador SC. Os 4 bits CSI que correspondem à contagem dos valores pares de SN são utilizados para outros fins, nomeadamente no método de transferência de informação estruturada, como vimos atrás.

Na recepção os bits RTS são extraídos do campo CSI e guardados num registo para posterior comparação com o RTS, gerado localmente através da frequência da rede fn e da frequência derivada fnx idênticas às usadas no lado do transmissor. A saída do Comparador é usada para controlar um PLL e um VCXO (*Voltage Controled Crystal Oscillator*) que permitem recuperar a frequência do relógio de serviço local, como se mostra na fig. 7.15.
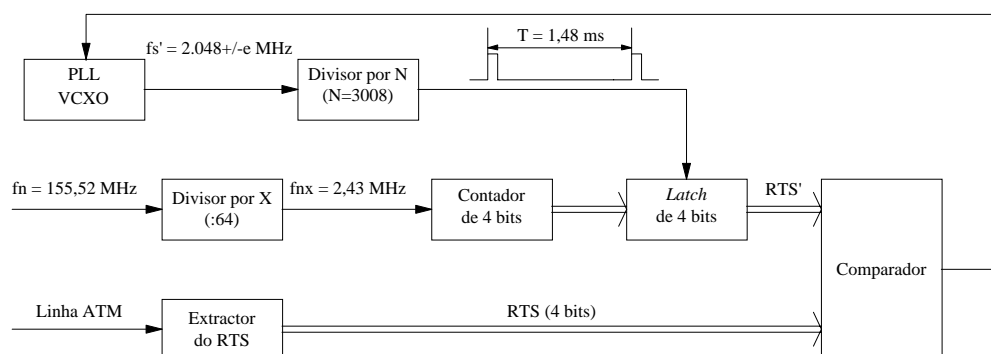
Fig. 7.15 - Exemplo de diagrama de blocos no receptor

8. AAL tipo 2

O AAL tipo 2 é definido na recomendação I.363.2 (B-ISDN ATM Adaptation Layer Type 2 Specification). Este AAL proporciona uma transmissão eficiente para aplicações de baixo ritmo (fixo ou variável) e sensíveis a atrasos, baseadas em pacotes pequenos. É possível a multiplexagem de vários fluxos de informação de utilizador sobre uma única conexão ATM.

É definida a estrutura da trama dos pacotes de comprimento curto, o empacotamento destes em uma ou mais células ATM e os mecanismos para recuperar de erros de transmissão.

A estrutura da AAL2 é constituída pela CPS (Common Part Sublayer) e a SSCS (Service Specific Convergence Sublayer), conforme indicado atrás na figura 6.2.

Podem ser definidos diferentes protocolos SSCS para suportar serviços de utilizador de AAL2, podendo nomeadamente o SSCS ser nulo para alguns serviços.

Os utilizadores de AAL2 têm a possibilidade de seleccionar um dado AAL-SAP associado com um determinado QoS (por exemplo, sensibilidade a atraso e perdas) requerido para transportar a AAL-SDU. O utilizador de AAL seleciona o QoS proporcionado pelo AAL através da escolha do AAL-SAP utilizado para a transferência de dados. Podem ser utilizadas várias conexões AAL sobre uma única conexão ATM, permitindo multiplexagem ao nível AAL, tal como se mostra na figura 8.1.
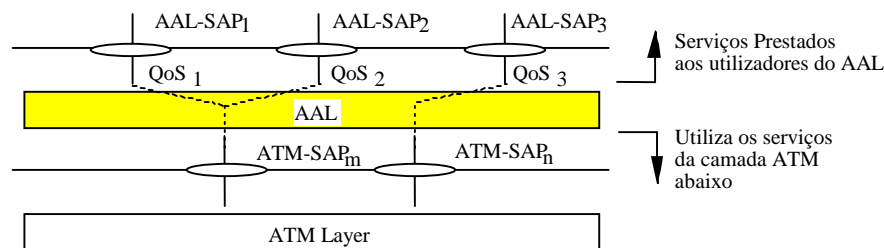
Fig. 8.1 - Multiplexagem de conexões AAL tipo 2

8.1. Subcamada CPS de AAL2

A subcamada CPS de AAL2 proporciona a capacidade de transferência de CPS-SDUs de um utilizador CPS para outro através da rede ATM. O serviço oferece uma operação não assegurada entre camadas pares com as seguintes características:

- É proporcionada a transferência não assegurada de CPS-SDUs até 45 octetos (ou 64)
- As CPS-SDU perdidas não são corrigidas através de retransmissão
- É proporcionada a multiplexagem e desmultiplexagem de múltiplas conexões CPS
- É mantida a integridade de sequência de CPS-SDU em cada conexão CPS.

A Unidade de Dados do Protocolo CPS de AAL2 (CPS-PDU) consiste num cabeçalho de um octeto e num campo de informação de 47 octetos. O CPS-PDU de 48 octetos é a ATM-SDU, tal como se mostra na figura 8.2.

O cabeçalho do CPS-PDU é designado Start Field (STF). O STF consiste dos seguintes três sub-campos:

Offset Field (OSF)

Este campo contém o valor binário do offset, medido em octetos, entre o fim do STF e o início do primeiro pacote CPS ou, na ausência deste, do início do campo PAD. O valor 47 indica que não há qualquer início no campo de informação do CPS-PDU. Valores acima de 47 não são válidos.

Sequence Number (SN)

Este bit é usado para numerar (módulo 2) a sequência de CPS-PDUs.

OSF - Offset Field (6 bits) SN - Sequence Number (1 bit)
P - Parity (1 bit) PAD - Padding (0 ... 47 Octets)
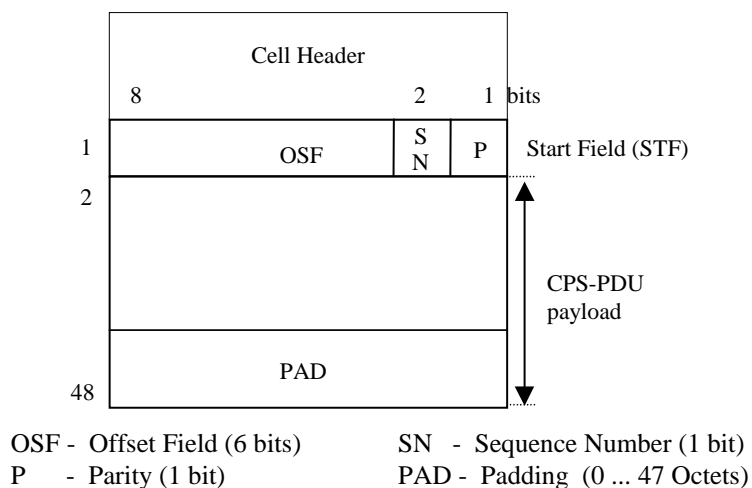
Fig. 8.2 - Formato da CPS-PDU

Parity (P)

Este bit é usado pelo receptor para detectar erros no STF. O emissor põe este bit com um valor tal que a paridade sobre os 8 bits do STF seja impar.

O campo de informação (CPS-PDU payload) pode conter 0, 1 ou mais pacotes CPS, completos ou incompletos.

Os octetos não usados são postos a 0, formando o campo PAD.

A informação dos utilizadores de AAL2 é inserida em pacotes CPS cujo formato é indicado na figura 8.3.

Como se pode ver na figura, um pacote CPS consiste num cabeçalho de 3 octetos (CPS-PH) seguido de um campo de informação (CPS-PP) de 1 a 45 (ou 1 a 64) octetos.

CID - Channel Identifier (8 bits)
LI - Length Indicator (6 bits)
UUI - User-to-User Indication (5 bits)
HEC - Header Error Control (5 bits)
INFO - Information (1 ... 45 / 1..64 octets)
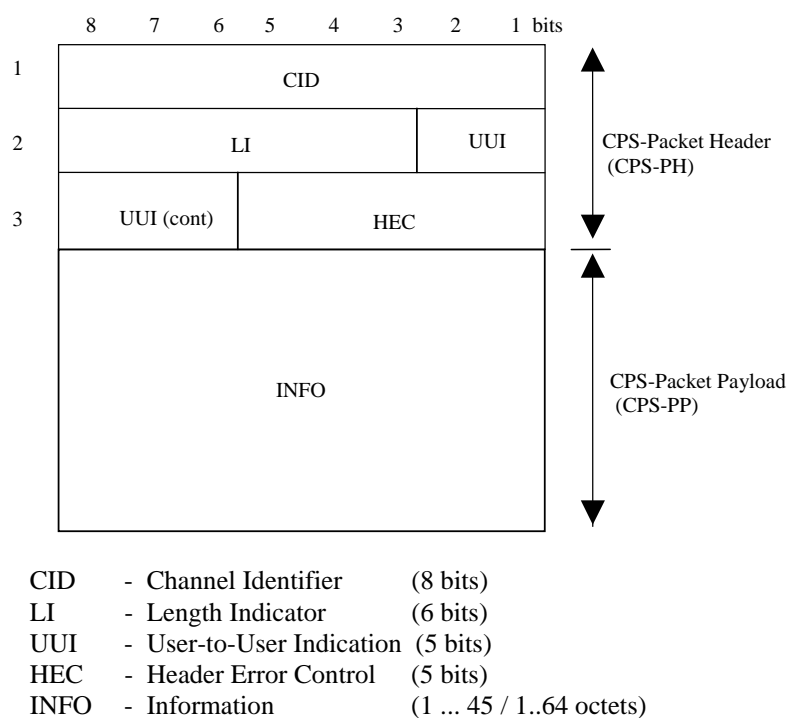
Fig. 8.3 - Formato do Pacote CPS de AAL tipo 2

O cabeçalho CPS-PH é constituído por 4 campos:

Channel Identifier (CID)

O campo CID identifica o utilizador AAL 2 do canal, permitindo a multiplexagem de vários utilizadores sobre o mesmo VC. O mesmo valor deve ser usado em ambas as direcções. Os valores 8-255 são usados para identificar os utilizadores do CPS de AAL2. O valor 0 é usado para enchimento (padding). Os outros valores estão reservados.

Length Indicator (LI)

O campo LI é codificado com o número de octetos de informação do pacote CPS subtraído de uma unidade. O valor por omissão do pacote é de 45 octetos. O valor de 64 octetos também é permitido. Os valores 46-63 estão reservados para uso futuro.

User-to-User Indication (UUI)

O valor do UUI é transportado transparentemente pelo CPS, para utilização pelas camadas superiores.

Header Error Control (HEC)

O emissor calcula o resto da divisão (módulo 2) pelo polinómio gerador X^5+X^2+1, do produto de X^5 e o conteúdo dos primeiros 19 bits do CPS-PH. O receptor utiliza o conteúdo do campo HEC para detectar erros do CPS-PH.

O formato dos Pacotes CPS e o seu empacotamento em CPS PDU de AAL2 é mostrado na figura 8.4. Faz-se notar que o campo PAD só existe se não houver pacotes CPS para preencher completamente a célula, podendo portanto um pacote CPS estar repartido por duas células consecutivas.
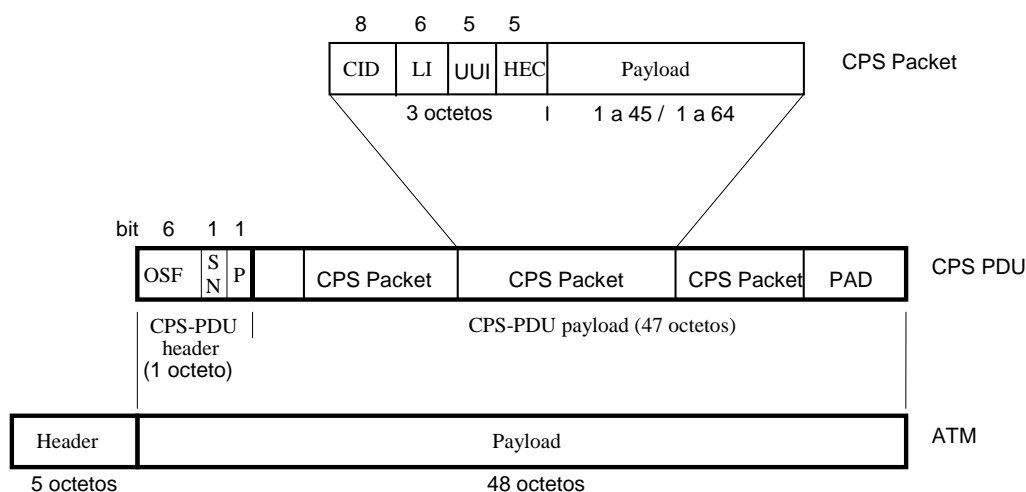
Fig. 8.4 – Exemplo de empacotamento de Pacotes CPS de AAL tipo 2 em CPS PDU

9. AAL tipo 3/4

O AAL tipo3/4 é definido na recomendação I.363.3. De modo semelhante aos outros AAL, o AAL3/4 é dividido em duas sub-camadas, SAR e CS. A subcamada CS é por sua vez sub-dividida em duas: CPCS (Common Part CS) e SSCS (Service Specific CS), conforme indicado atrás na figura 6.2.

9.1. Sub-camada SAR de AAL3/4

As principais funções da subcamada SAR são as seguintes:

i) Preservação de SAR-SDU.
ii) Detecção de erros.
iii) Integridade da sequência de SAR-SDUs.
iv) Multiplexagem de conexões SAR numa conexão ATM.

O formato da SAR correspondente ao AAL tipo 3/4 é indicada na figura 9.1.
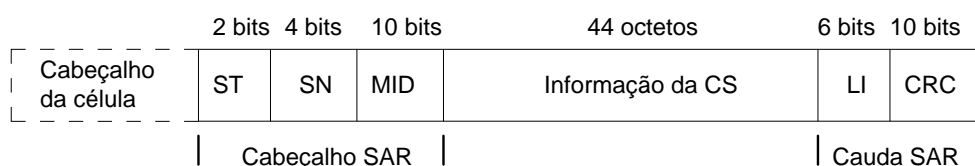
Fig. 9.1 - PDU da SAR para AAL 3/4

Os dois primeiros octetos do cabeçalho SAR contêm os campos Tipo de Segmento ("Segment Type" - ST), Número de Sequência ("Sequence Number"-SN) e Identificador de Mensagem ("Message Identifier" - MID).

O campo ST indica se esta PDU, que resulta da segmentação de uma mensagem da subcamada superior CS, é o primeiro segmento, um segmento de continuação ou o último segmento dessa mensagem. Pode também indicar que a mensagem consiste de um único segmento:

- BOM (beginning of message) - 10
- COM (continuation of message) - 00
- EOM (end of message) - 01
- SSM (single segment) - 11

O campo SN tem funcionalidade idêntica à descrita para a PDU da AAL1, variando neste caso de 0 a 15.

O campo MID permite multiplexar ao nível da SAR, PDUs pertencentes a diferentes mensagens da subcamada CS. Todas as SAR-PDU de uma mesma SAR_SDU terão o mesmo valor de MID.

A informação do nível superior CS ocupa 44 octetos da célula.

Os dois últimos octetos da cauda da SAR contêm os campos Indicador de Comprimento ("Length Indicator"-LI) e Controlo de erros ("Check Redundancy Control"-CRC).

O campo LI indica no caso do último segmento ou de segmento único, quantos octetos no campo de informação de CS correspondem à mensagem que foi segmentada. O campo CRC é baseado num polinómio gerador $G(x) = x^{10}+x^9+x^5+x^4+x+1$, e protege contra erros todo o campo de informação da célula.

9.2. Sub-camada CPCS de AAL3/4

As principais funções da subcamada CPCS de AAL3/4 são as seguintes:

i) Preservação da CPCS-SDU.
ii) Detecção de erros.
iii) Reserva da capacidade para o buffer de recepção.

A estrutura da CPCS-PDU é indicada na figura 9.2.
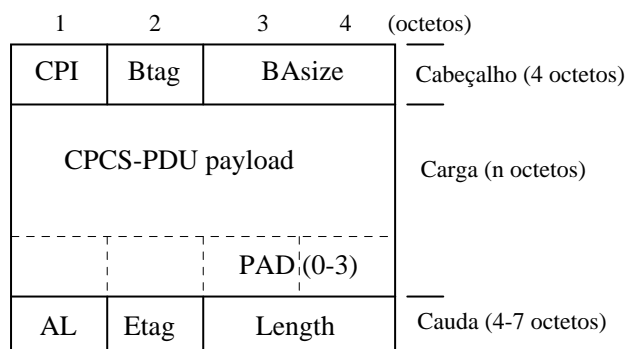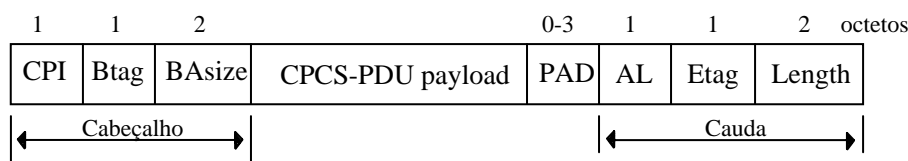
Fig. 9.2 - PDU da CPCS para AAL 3/4

O campo CPI (Common Part Indicator) interpreta campos subsequentes. CPI = 00000000 indica BAsize em octetos e Length em octetos; outros valores em estudo.

O campo Btag (Beginning tag) permite associar o cabeçalho com a cauda da mesma CPCS-PDU.

O campo BAsize (Buffer Allocation size) indica a capacidade máxima que o buffer de recepção deve possuir.

O PAD alinha o comprimento do "payload" com um múltiplo de 32 bits.

O campo AL (Alignment): alinha a cauda (excluindo o PAD) com o comprimento de 32 bits.

O campo Etag (End tag) associa a cauda com o cabeçalho da CPCS-PDU. (Btag = Etag na mesma CPCS-PDU).

O campo Length indica o comprimento da informação (nº de octetos) na CPCS-PDU payload.

A segmentação da PDU de SSCS/CPCS de AAL3/4 em células é exemplificada na figura 9.3.
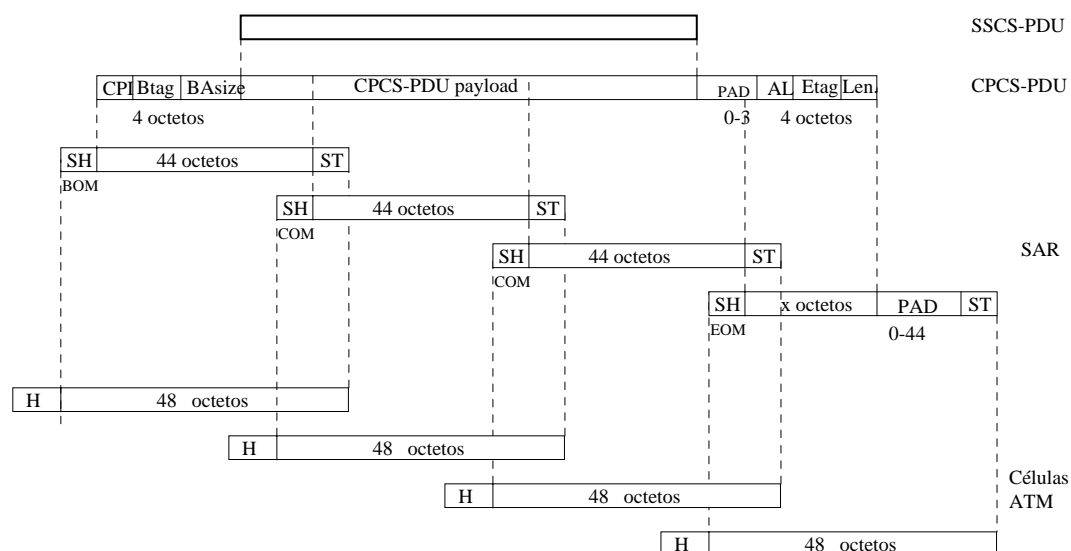
Fig. 9.3 - Segmentação de dados em AAL3/4

10. AAL tipo 5

O AAL tipo 5 é definido na recomendação I.363.5. Este AAL foi definido tendo como objectivo fundamental uma maior simplicidade e eficiência de transporte de dados.

De modo semelhante ao AAL3/4, o AAL5 é dividido em duas sub-camadas, SAR e CS. A subcamada CS é por sua vez sub-dividida em duas: CPCS (Common Part CS) e SSCS (Service Specific CS).

10.1. Sub-camada SAR de AAL5

A PDU ao nível da SAR para AAL5 é indicada na figura 10.1.
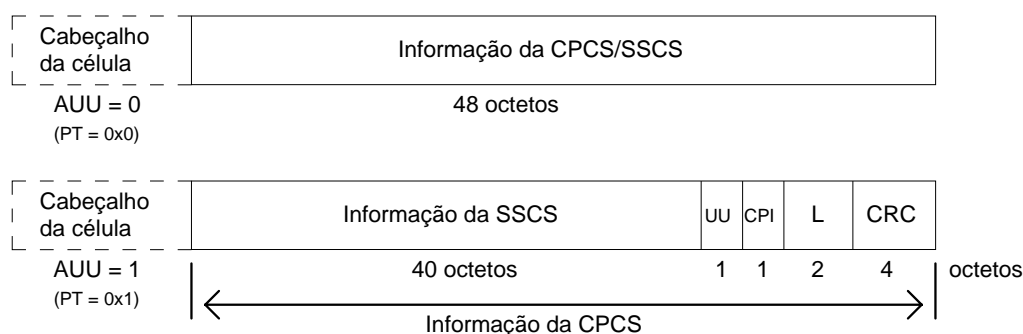
Fig. 10.1 - PDU da SAR para AAL 5

Como se observa na figura, são definidos dois formatos de PDU em AAL5, os quais são distinguidos através do campo AUU, o qual é definido através de uma combinação de valores do PTI do cabeçalho da célula: AUU=0 corresponde a PTI=0x0; AUU=1 corresponde a PTI=0x1.

Na célula superior, correspondente a AUU=0, a informação da camada superior CS ocupa integralmente os 48 octetos da célula. Este formato de célula é usado para envio de um segmento de início ou continuação de PDU CPCS;

Na célula inferior, em que AUU=1, a informação da camada superior CS ocupa os primeiros 40 octetos da célula, sendo os últimos 8 octetos da célula constituídos pelos campos User-User Information, (UU), Common Part Indicator (CPI), Lenght (L) e CRC. Este formato de célula é usado para envio de um segmento de fim de PDU CPCS;

10.2. Sub-camada CPCS de AAL5

As principais funções da subcamada CPCS são as seguintes:

i) preservação da CPCS-SDU
ii) preservação da CPCS-UU
iii) detecção de erros
iv) enchimento do CPCS-PDU payload

A estrutura da CPCS-PDU de AAL5 é indicada na figura 10.2.
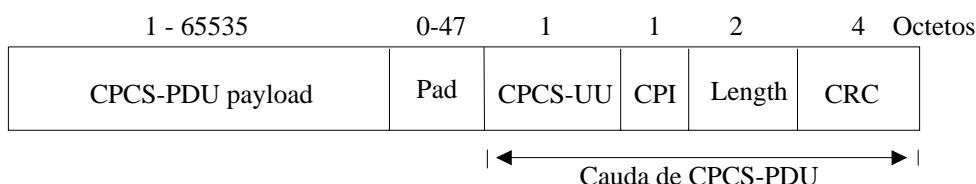
Fig. 10.2 - PDU da CPCS para AAL 5

PAD: alinha o CPCS-PDU com um múltiplo de 48 octetos. Fica entre o Payload e a cauda, podendo ter um comprimento entre 0 e 47 octetos.

CPCS-UU (CPCS user-to-user indication): transportado transparentemente entre utilizadores.

CPI (common part indicator): alinha a cauda com 64 bits; outras funções em estudo.

Length: indica comprimento (nº octetos) de informação no payload.

CRC: protege a CPCS-PDU contra erros com CRC-32. O campo CRC é usado para detectar erros de bits no pacote AAL5 (CPCS-PDU). O polinómio gerador do CRC32 é:

$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^{8} + x^{7} + x^{5} + x^{4} + x^{2} + x^{1} + 1.$

O CRC é calculado sobre todos os dados do CPCS-PDU, o PAD e os quatro primeiros octetos do Trailer. O CRC é inicializado com todos os bits a 1, isto é:

Q(31 .. 0) := "11111111111111111111111111111111";

No final o resultado do cálculo do CRC é invertido (complemento para 1) antes de ser transmitido.

A segmentação da PDU de SSCS/CPCS de AAL5 em células é exemplificada na figura 10.3.
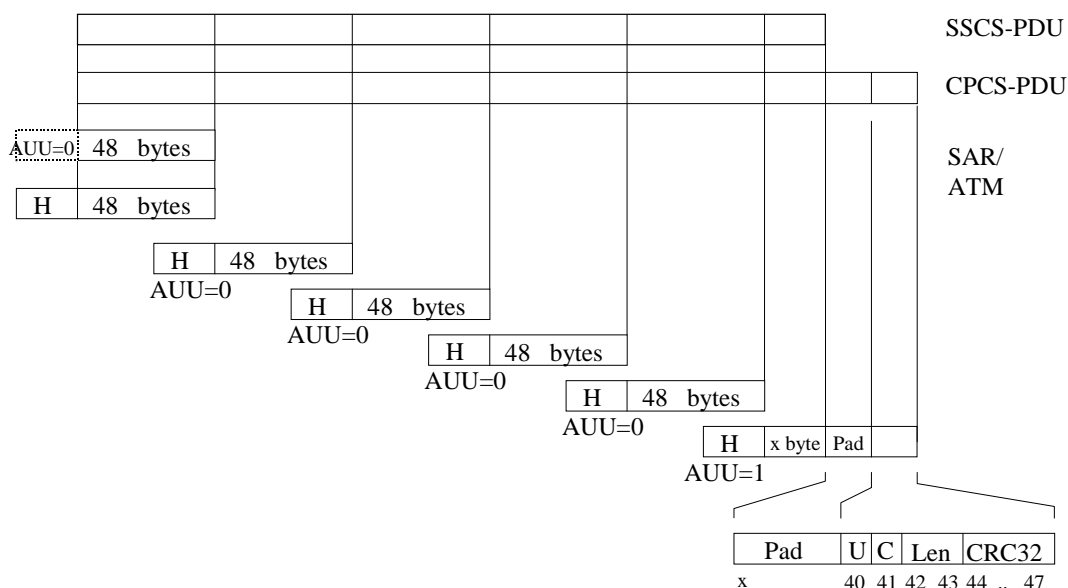
Fig. 10.3 - Segmentação de dados em AAL5

Como se observa na figura, os dados provenientes das camadas superiores são segmentados em blocos de 48 octetos e inseridos em células. Todas as células têm o indicador AUU=0 excepto a última

em que AUU=1 para indicar o fim da PDU de CS. Os vários campos inseridos na última célula serão analisados mais à frente.

Dão-se em seguida alguns exemplos de CPCS-PDUs incluindo os octetos de dados e os vários campos da cauda, nomeadamente o valor calculado do CRC32.

A) PDU com 40 octetos com "00000000", UU=0, CPI=0, Length = 40 octetos, CRC32 = 864D 7F99

00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	28	86	4D	7F	99

B) PDU com 40 octetos a "11111111", UU=0, CPI=0, Length = 40 octetos, CRC32 = C55E 457A

FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	00	00	00	28	C5	5E	45	7A

C) PDU com 40 octetos com valores de 1 a 40 (decimal), UU=0, CPI=0, Length = 40 octetos, CRC32 = BF 67 1E D0

01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20
21	22	23	24	25	26	27	28	00	00	00	28	BF	67	1E	D0

10.4. Sub-camada SSCS para HDLC

A recomendação I.365.4, "Service Specific Convergence Sublayer for HDLC Applications", especifica a sub-camada SSCS para aplicações que utilizem o protocolo HDLC.

O modelo de protocolos associado com esta recomendação é indicado na figura 10.6.
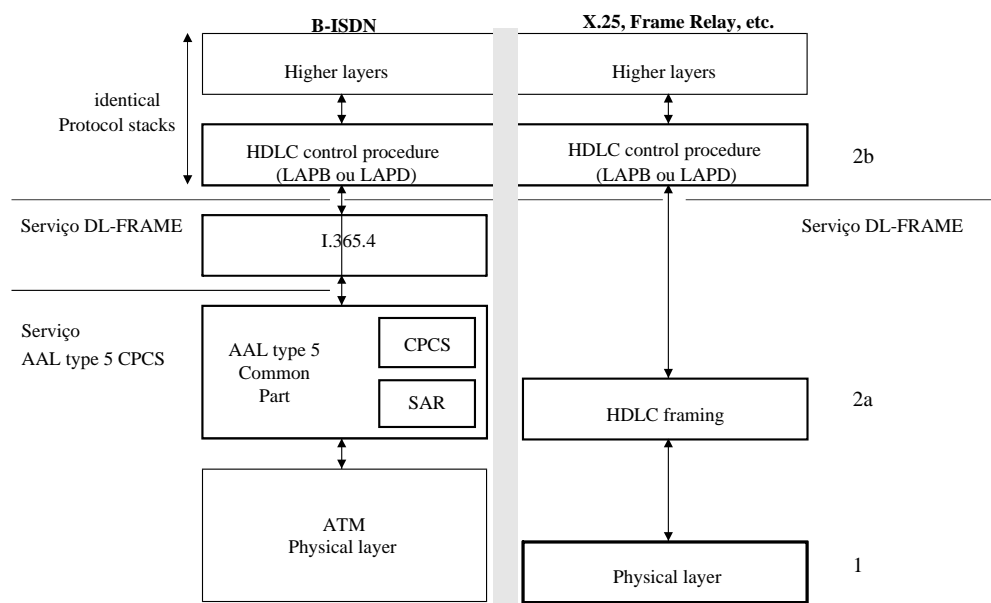
Fig. 10.6 - Estrutura protocolos de FR-SSCS

10.5. Sub-camada SSCS para MPEG2

Nas recomendações H.222.0 e ISO/IEC 13818-1, foi especificado para o tamanho do pacote de transporte (TS - Transport Stream) de MPEG2 o valor de 188 octetos.
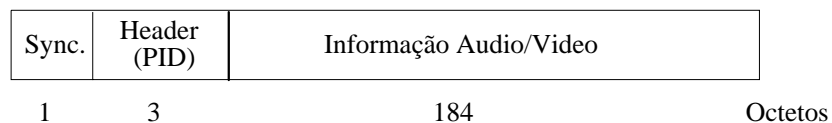
Fig. 10.7 - Estrutura do Pacote de Transporte MPEG2

Para transporte eficiente dos pacotes de transporte MPEG2 sobre ALL5 foi definido pelo ATM Forum o encapsulamento de 2 pacotes consecutivos numa PDU AAL5.
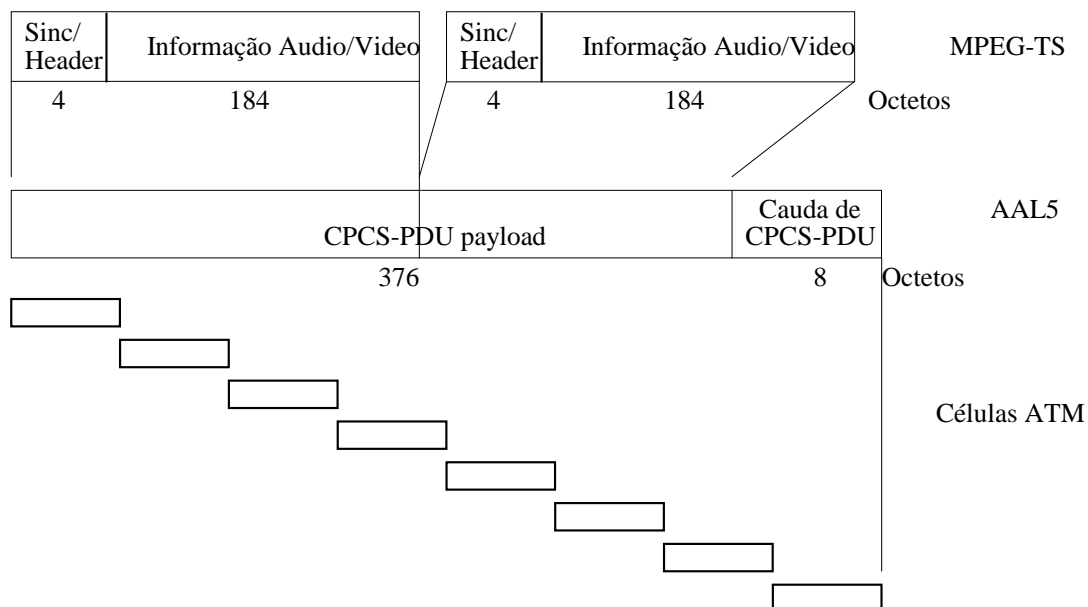
Fig. 10.8 - Formato de PDU AAL5 contendo 2 Pacotes de Transporte MPEG2

Como se conclui da figura anterior, 2 pacotes de transporte MPEG, com um total de 376 octetos (2 x 188) são transportados numa PDU AAL5, com o campo PAD nulo. A PDU AAL5 será transportada em 8 células ATM, de modo eficiente.

11. Gestão de Tráfego

11.1 Gestão de tráfego em redes ATM

Em redes ATM a congestão de tráfego é definida como uma condição que existe ao nível ATM nos elementos de rede, tais como comutadores ou linhas de transmissão, onde a rede não tem capacidade de cumprir um determinado objectivo de desempenho negociado.

O controlo de tráfego define um conjunto de acções tomadas pela rede para evitar congestão, nomeadamente tomando medidas para se adaptar às flutuações imprevisíveis no fluxo de tráfego ou a outros problemas existentes na rede.

Os objectivos do controlo de tráfego e controlo de congestão são assim o de proteger a rede e ao mesmo tempo providenciar ao utilizador determinados objectivos de serviço contratados.

É de notar que a rede ATM é projectada de modo a não confiar na camada AAL para proporcionar qualquer tipo de medidas de controlo de tráfego ou de congestão, embora esta as possa proporcionar para melhorar as funções efectuadas ao nível ATM.

Para atingir os objectivos de controlo de tráfego e de controlo de congestão, a rede ATM deve:

- Executar um conjunto de acções chamadas Controlo de Admissão de Conexão durante o estabelecimento de chamada para determinar se uma conexão do utilizador é aceite ou é rejeitada.
- Estabelecer acções para monitorar e regular o tráfego na UNI, acções estas chamadas Controlo de Parâmetros de Utilização (UPC - Usage Parameter Control).
- Aceitar entradas do utilizador para estabelecer prioridades para diferentes tipos de tráfego, através da utilização do bit CLP.
- Estabelecer mecanismos de formatação de tráfego (traffic shaping) de modo a obter um determinado objectivo de tráfego global (com diferentes características) na UNI.

11.2. Parâmetros de tráfego

Na recomendação I.371 do ITU-T são definidos os seguintes parâmetros de tráfego com influência na qualidade de serviço ATM:

- Peak Cell Rate (PCR)
- Sustainable Cell Rate (SCR)
- Intrinsic Burst Tolerance (IBT)

Adicionalmente, é definido pelo ATM Forum em af-tm-0056-"Traffic Management Specification", o parâmetro Minimum Cell Rate (MCR) com influência na qualidade de serviço ATM.

11.2.1. Peak Cell Rate (PCR)

O PCR é um parâmetro do descritor de tráfego da fonte que especifica o limite superior do ritmo que pode ser submetido numa conexão ATM. O PCR de uma conexão ATM pode ser definido como o inverso do mínimo intervalo de tempo entre a chegada de duas células consecutivas.
Este parâmetro tem grande influência em vários parâmetros de qualidade de serviço, nomeadamente na perda de células (CLR) e na variação de atraso de células (CDV).

11.2.2. Sustainable Cell Rate (SCR)

O SCR é um parâmetro do descritor de tráfego da fonte que especifica o ritmo médio de transmissão de células durante a duração da conexão.

11.2.3. Intrinsic Burst Tolerance (IBT)

O IBT define o tamanho máximo do *burst* a que a fonte pode transmitir ao ritmo de pico (PCR).
Este parâmetro tem grande influência em vários parâmetros de qualidade de serviço, nomeadamente no CLR e no CDV.

11.2.4. Minimum Cell Rate (MCR)

O MCR define o ritmo a que a fonte é sempre autorizada a transmitir pela rede.
Este parâmetro é utilizado na categoria de serviço ABR.

11.3. Funções de Controlo de tráfego e de congestão

11.3.1. Controlo de admissão de conexão (CAC)

O controlo de admissão de conexão (CAC -Connection Admission Control) é definido como um conjunto de acções tomadas pela rede durante a fase de estabelecimento da chamada (conexão virtual) ou durante a fase de renegociação, para determinar se o pedido de conexão pode ser acite ou se deve ser rejeitado. Os recursos de rede (largura de banda na porta e espaço de buffer) são reservados para a conexão em cada elemento de comutação atravessado, se tal for requerido pela classe de serviço utilizada.

11.3.2. Controlo de parâmetros de utilização (UPC)

O controlo de parâmetros de utilização (UPC - Usage Parameter Control) é definido como um conjunto de acções tomadas pela rede para monitorar e controlar o tráfego oferecido e a validade da conexão ATM na interface utilizador-rede (UNI). A função principal do UPC é proteger os recursos da rede (largura de banda e buffers) de utilizadores com comportamento malicioso ou involuntário que possam afectar a qualidade de serviço das conexões estabelecidas.

Os procedimentos baseados no Generic Cell Rate Algorithm (GCRA) podem ser aplicados a cada chegada de célula, para determinar conformidade com o contrato de tráfego definido para a conexão. As violações dos parâmetros negociados são detectadas e as medidas apropriadas são tomadas, nomeadamente marcação ou eliminação de células.

11.3.3. Controlo de parâmetros de rede (NPC)

Analogamente, o controlo de parâmetros de rede (NPC - Network Parameter Control) é definido como um conjunto de acções tomadas pela rede para monitorar e controlar o tráfego oferecido e a validade da conexão ATM na interface entre nós da rede (NNI).

11.3.4. Algoritmo de Ritmo de Célula Genérico (GCRA)

O Algoritmo de Ritmo de Célula Genérico (GCRA - Generic Cell Rate Algorithm) é utilizado para definição de conformidade para as fontes de tráfego de ritmo variável. Este método é vulgarmente conhecido por algoritmo de balde furado (em inglês, Leaky Bucket), podendo ser graficamente representado pela seguinte figura, em que se arbitraram os parâmetros I=5 e L=15. O parâmetro I é função do ritmo PCR contratado e o parâmetro L é função do IBT da rede.
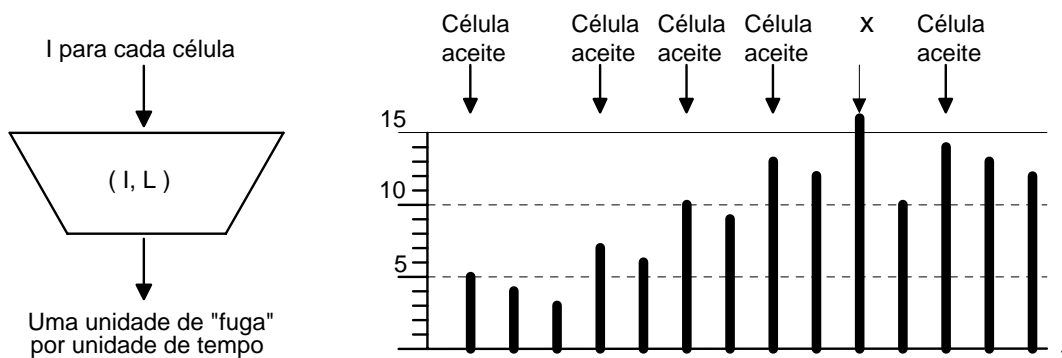
Fig. 11.1 - Exemplo de funcionamento do Leaky Bucket com LB (5,15)

De cada vez que é recebida uma célula o contador é incrementado de I unidades, o que no exemplo apresentado corresponde a 5 unidades. Por cada unidade de tempo o contador é decrementado de uma unidade. Enquanto o contador não atingir o valor do parâmetro L (correspondente ao "balde" cheio), a célula é aceite. Caso o contador ultrapasse o valor de L a célula é marcada com CLP=1.

Numa escala temporal mais alargada, exemplifica-se na figura 11.2 o nível de enchimento do balde para um ritmo de chegada de células de 0 a 30 células/s, considerando um ritmo de fuga de 10 células/s e uma dimensão do balde de 30 células. Note-se que entre os 5 e 6 segundos houve células marcadas com CLP=1 devido ao balde estar cheio.
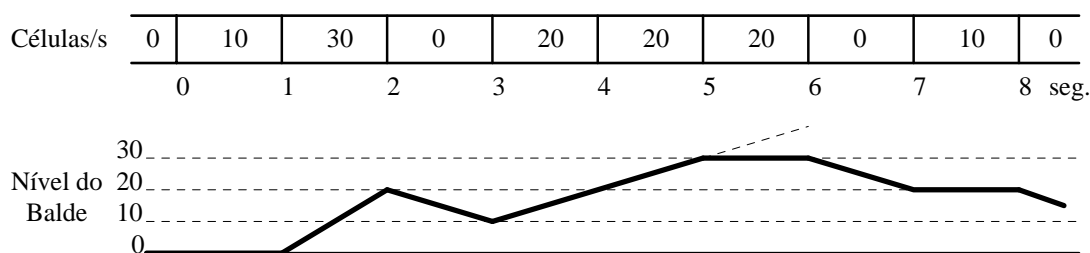
Fig. 11.2 - Segundo exemplo de funcionamento do Leaky Bucket

11.4 Qualidade de serviço em ATM

São identificados dois tipos de parâmetros com influência na qualidade de serviço relativa à transferência de células ATM: parâmetros de tráfego e parâmetros de desempenho ATM.

Os parâmetros de tráfego com influência na qualidade de serviço ATM são identificados na recomendação I.371 do ITU-T e na especificação af-tm-0056-“Traffic Management Specification” do ATM Forum , tal como vimos: Peak Cell Rate (PCR), Sustainable Cell Rate (SCR), Intrinsic Burst Tolerance (IBT) e Minimum Cell Rate (MCR).

Analisamos em seguida os parâmetros de desempenho ATM.

11.4.1. Parâmetros de desempenho ATM

A recomendação I.353 do ITU-T define os pontos de medida (MP) e os acontecimentos de referência associados que proporcionam a base da descrição de desempenho em RDIS. O desempenho da transferência de células ATM é medido através da observação dos acontecimentos de referência originados pela passagem das células pelos pontos de medida.

O desempenho de rede proporcionado aos utilizadores RDIS-BL depende do desempenho de três camadas, tal como se mostra na figura 11.3.
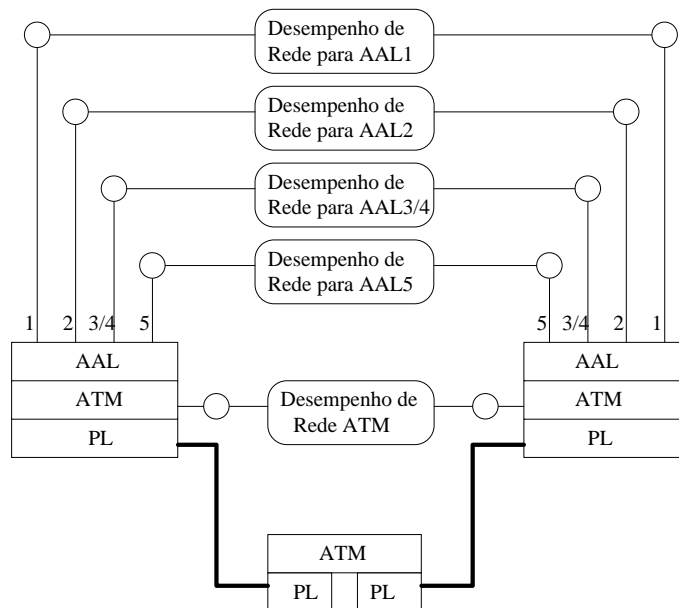
Figura 11.3 - Modelo de camadas de desempenho em RDIS-BL

Na recomendação I.356 do ITU-T e na I-ETS 300 464 do ETSI, são definidos vários conceitos relacionados com a transferência de células ATM, que a seguir se indicam:

Célula transferida com sucesso

Uma célula transferida com sucesso é definida como uma célula que é recebida com:

i) um conteúdo do campo de informação que corresponde exactamente ao que foi transmitido, e

ii) um cabeçalho válido antes ou depois de serem efectuados os procedimentos de correcção do cabeçalho

Célula errada

Uma célula errada é definida como uma célula que devido a erros de transmissão na camada fisica é recebida com:

i) um conteúdo que difere do que foi transmitido, isto é, em que existem um ou mais bits recebidos com erro no campo de informação da célula, ou

ii) um cabeçalho inválido após serem efectuados os procedimentos de correcção do cabeçalho (HEC)

Célula perdida

Uma célula perdida é definida como uma célula que não é recebida durante um intervalo de tempo predefinido (Tmax) após a sua transmissão.

Célula mal inserida

Uma célula mal inserida é definida como uma célula que é recebida sem que tenha ocorrido a correspondente transmissão numa determinada conexão. Erros de transmissão na camada física ao nível do cabeçalho ATM podem originar que o VPI/VCI se altere para outro valor igualmente válido. Esta situação provoca que uma célula seja incorrectamente inserida numa outra conexão.

Bloco de células severamente erradas

Um bloco de células é definido como um conjunto de N células transmitidas consecutivamente numa dada conexão. Um bloco de células severamente erradas ocorre quando mais de M células erradas, células perdidas ou células mal inseridas são observadas num bloco de células recebidas. Em geral um bloco de células corresponde ao número de células de utilizador inseridas entre duas células OAM consecutivas.

Os parâmetros de desempenho ATM definidos na Recomendação I.356 são os seguintes:

- Cell Error Ratio (CER)

- Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR)
- Cell Loss Ratio (CLR)
- Cell Misinsertion Rate (CMR)
- Mean Cell Transfer Delay (MCTD)
- Cell Delay Variation (CDV)

Cell Error Ratio (CER)

O CER é o rácio entre o total de células erradas e o total de células transferidas com sucesso ou com erro. Devem ser excluídos do cálculo do CER os blocos de células consideradas para o cálculo do parâmetro SECBR.

Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR)

O SECBR é o rácio entre o total de blocos de células severamente erradas e o total de blocos de células transferidas num determinado intervalo de tempo.

Cell Loss Ratio (CLR)

O CLR é o ratio entre o total de células perdidas e o total de células transmitidas num determinado intervalo.

Devem ser excluidas do cálculo do CLR as células perdidas e transmitidas pertencentes a um bloco de células consideradas severamente erradas.

A perda de células no cabeçalho ATM é devida a erros de transmissão na camada física. Outra situação responsável pela perda de células está associada à congestão nos comutadores ATM.

Cell Misinsertion Rate (CMR)

O CMR é o total de células mal inseridas observadas na unidade de tempo. Devem ser excluidas do cálculo do CMR as células mal inseridas pertencentes a um bloco de células consideradas severamente erradas.

Mean Cell Transfer Delay (MCTD)

O MCTD é definido como a média aritmética de um número especificado de atraso de transferência de células.

Estes atrasos são devidos ao tempo de propagação nas linhas de transmissão e à comutação. Na camada ATM, a multiplexagem de células e as filas de espera podem causar atrasos adicionais.

Cell Delay Variation (CDV)

CDV é a variação do atraso de transferência de células (CTD) causada por variações no comprimento das filas de espera e por variações nos atrasos associados à multiplexagem das células. Esta variação torna-se mais acentuada quando um VC é multiplexado com tráfego altamente variável ou quando existem situações de congestão ao nível dos comutadores ATM.

São definidos dois parâmetros associados com o CDV:

1-ponto CDV é definido na base da observação de uma sequência de chegadas consecutivas de células num ponto de medida. O 1-pontoCDV descreve a variabilidade do padrão de chegada de células (entrada ou saída) no ponto de medida, incluindo todas os troços da conexão desde a fonte.

2-pontos CDV é definido na base da observação de uma sequência de chegadas consecutivas de células em dois pontos de medida que delimitam um troço de uma conexão virtual, incluindo apenas a variabilidade do padrão de chegada de células no ponto de medida no troço da conexão entre os dois pontos de medida considerados.

Verificam-se em geral as seguintes relações de grandeza: CMR << CLR << CER

11.4.2. Fontes de degradação da qualidade de serviço

São identificáveis várias fontes de degradação de qualidade de serviço ATM, a seguir analisadas:

Atraso de propagação

É o atraso causado pelo tempo de propagação no meio físico que transporta os bits que constituem as células ATM entre UNIs e entre comutadores ATM.

Estatística de erros físicos
São os erros aleatórios de bits e de bursts introduzidos no meio físico.

Arquitectura de comutação
A arquitectura dos comutadores pode ter um impacto elevado no desempenho da rede. Alguns aspectos a considerar são o projecto da matriz de comutação, a estratégia de buffers internos e as características do comutador em carga.

Capacidade dos buffers
A capacidade dos buffers em células em cada porta UNI, numa matriz de comutação ou em multiplexers/ concentradores ATM.

Carga de tráfego
Carga oferecida por um conjunto de conexões ATM na mesma rota que a conexão em observação.

Número de nós em cascata
Número de nós de comutação ATM que uma determinada conexão atravessa.

Atribuição de recursos
Capacidade atribuída a uma conexão ou a um conjunto de conexões, tais como o conjunto de conexões numa determinada rota que são atribuídos a uma determinada classe de qualidade de serviço.

Falhas
Acontecimentos que têm impacto na disponibilidade da rede, nomeadamente falhas de portos, de comutadores ou de junções. A comutação de equipamentos ou circuitos pode provocar perda de células.

Na tabela 11.1 apresenta-se sumariamente o impacto das várias fontes de degradação identificadas nos diferentes parâmetros de desempenho ATM.

Tabela 11.1 - Impacto das várias fontes de degradação nos parâmetros de qualidade de serviço

Atributo	CER	SECBR	CLR	CMR	MCTD	CDV
Atraso de propagação					X	
Estatística de erros físicos	X	X	X	X		
Arquitectura de comutação			X		X	X
Capacidade dos buffers		X	X		X	X
Carga de tráfego			X	X	X	X
Número de nós em cascata	X	X	X	X	X	X
Atribuição de recursos			X		X	X
Falhas	X	X	X			

11.4.3. Classes de qualidade de serviço

Na I.356 o ITU-T propõe as seguintes quatro classes de qualidade de serviço (QoS):

- **Classe 1 (stringent)**: Classe de QoS por omissão - CLR baixo. A classe 1 requer buffers pequenos (100 células)
- **Classe 2 (tolerant)**: Classe de QoS de altos CDV/CTD, mais elevados que na classe 1. A classe 2 não põe requisitos na CDV. São requeridos nesta classe buffers maiores (>1000 células) que na classe 1.
- **Classe 3 (bi-level)**: Classe de QoS de alto CLR. Valores de CLR maiores que na classe 1 e requisitos de CDV menos rigorosos que na classe 1. São necessários buffers pequenos.
- **Classe U**: Classe de QoS sem especificação de limites de parâmetros de QoS.

O ITU-T propõe os valores indicados na tabela 11.2 para os parâmetros de desempenho de transferência de informação internacional extremo a extremo.

Tabela 11.2 - Definição de classes de QoS e objectivos de desempenho

Parâmetro de QoS	**Classe 1 (stringent)**	**Classe 2 (tolerant)**	**Classe 3 (bi-level)**	**Classe U**
CTD	400 ms	N	N	N
CDV	3 ms	N	N	N
CLR 0+1	$3\ 10^{-7}$	10^{-5}	N	N
CLR 0	nulo	nulo	10^{-5}	N
CER	$4\ 10^{-6}$	$4\ 10^{-6}$	$4\ 10^{-6}$	N
CMR	1/dia	1/dia	1/dia	N
SECBR	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	N

(N - Não limitado / Não especificado)

Como se verifica, cada classe de QoS apresenta uma combinação específica de limites de valores de desempenho. Qunado se estabelece uma única conexão, o utilizador pode pedir a qualidade de serviço que precisar de entre as apresentadas na tabela anterior, conseguindo-se deste modo garantir as necessidades dos diferentes serviços e aplicações.

É importante estabelecer uma associação entre as diferentes Categorias de Serviço ATM e as classes de QoS. Na tabela 11.3 apresenta-se a associação proposta na recomendação I.356.

Table 11.3 – Associação de Categorias de Serviço ATM e classes de QoS

Categorias de Serviço ATM	**Classes de QoS Aplicáveis**
CBR, rt-VBR	Class 1 (stringent class)
CBR, rt-VBR	Class 2 (tolerant class)
nrt-VBR, ABR	Class 3 (bi-level class)
UBR, ABR, GFR	U class

11.5. Categorias de serviço ATM

A introdução de um conjunto de categorias de serviço ATM tem por objectivo aumentar os benefícios da rede ATM, através da negociação, para cada conexão, do comportamento esperado do nível ATM, em termos de tráfego e desempenho, permitindo aos utilizadores a optimização dos requisitos da aplicação e a correspondente optimização das capacidades e recursos da rede para satisfazer esses requisitos.

As categorias de serviço ATM permitem ao utilizador seleccionar combinações específicas de parâmetros de tráfego e de desempenho, adequadas ao serviço pretendido. Embora a maioria dos requisitos específicos de uma dada aplicação possam ser resolvidos no acesso à rede ATM no nível AAL, o comportamento da rede ATM não deverá ficar dependente dos protocolos AAL ou superiores, devido ao facto de a rede operar ao nível ATM, sendo a implementação dos protocolos AAL e superiores em geral efectuada em equipamentos de acesso ou nos próprios terminais.

Quer os utilizadores quer os operadores da rede podem beneficiar da disponibilidade de um conjunto seleccionável de serviços de nível ATM. A perspectiva dos utilizadores é orientada para a minimização de custos de utilização da rede, satisfazendo simultaneamente os requisitos de qualidade e eficiência dos diferentes serviços e aplicações, nomeadamente em termos da largura de banda utilizada, atraso máximo, taxa de erro, procurando atingir um compromisso satisfatório entre desempenho e custo dos serviços. Os operadores por seu lado procuram atingir a máxima utilização dos recursos da rede, evitando a congestão enquanto partilham os recursos da rede por um número elevado de utilizadores, procurando satisfazer as necessidades destes o mais economicamente possível. A capacidade de oferecer uma gama de serviços de rede, com níveis seleccionáveis de custo/desempenho é uma questão chave para os operadores de rede, em particular em ambientes competitivos.

11.5.1. Classificação das categorias de serviço ATM

As categorias de serviço ATM foram definidas pelo ITU-T na Recomendação I.371, "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN" e especificadas em detalhe pelo ATM Forum na especificação "Traffic Management Specification (Version 4.0)". Foi utilizada uma terminologia diferente pelos dois organismos para definir conceitos análogos. Adopta-se a terminologia do ATM Forum neste capítulo devido a ser mais divulgada na literatura.

A "Categoria de Serviço ATM" do ATM Forum é designada pelo ITU-T de "Capacidade de Transferência da camada ATM", representando em ambos uma classe de conexões ATM com características homogéneas em termos de padrões de tráfego, requisitos de qualidade de serviço e possível uso de mecanismos de controlo, fazendo-a adequada para um determinado tipo de controlo de recursos da rede.

Podemos identificar as seguintes categorias de serviços do ponto de vista de atribuição de recursos de rede:

- categoria baseada em **atribuição constante (máxima) de banda**. É a categoria CBR do ATM Forum e a DTR do ITU-T.
- categoria baseada em **atribuição estatística (média) de banda**. É a categoria VBR do ATM Forum e a STR do ITU-T. O ATM-Forum subdivide a categoria VBR em rt-VBR e nrt-VBR, dependendo dos parâmetros de qualidade de serviço.
- categoria baseada em **atribuição "elástica de banda**, em que os recursos reservados variam com o tempo, dependendo da disponibilidade da rede. É a categoria ABR do ATM Forum e do ITU-T.
- categoria **sem atribuição explícita de recursos**. Não é especificada banda nem objectivos de qualidade de serviço. É a categoria UBR, definida apenas pelo ATM Forum.
- categoria baseada na **atribuição em bloco (ou burst)**. É a categoria ABT do ITU-T. Nesta categoria os recursos da rede são negociados e atribuídos numa base por bloco em vez de serem negociados com base na conexão, como nos outros casos.

- categoria com **garantia de transmissão de tramas**. É a categoria GFR, do ATM Forum e do ITU-T.

Na tabela 11.3 apresentam-se as diferentes Categorias de Serviço ATM do ATM Forum e as correspondentes Capacidade de Transferência da camada ATM do ITU-T.

Table 11.3 - Comparação das categorias de serviço ATM do ATM Forum com o ITU-T

ATM Forum TM4.0 "ATM Service Category"	ITU-T I.371 "ATM Transfer Capability"	Uso típico
Constant Bit Rate (CBR)	Deterministic Bit Rate (DBR)	Tempo real, Garantias de QoS
Real-Time Variable Bit Rate (rt-VBR)	(em estudo)	Tempo real, multiplexagem estatística
Non-Real-Time Variable Bit Rate (nrt-VBR)	Statistical Bit Rate (SBR)	Multiplexagem estatística
Available Bit Rate (ABR)	Available Bit Rate (ABR)	Exploração de recursos, Controlo de realimentação
Unspecified Bit Rate (UBR)	(sem equivalente)	Melhor esforço, sem garantias
(sem equivalente)	ATM Block Transfer (ABT)	Controlo de realimentação ao nível de Burst
Guaranteed Frame Rate (GFR)	Guaranteed Frame Rate (GFR)	Garantia de transporte de tramas

Uma categoria de serviço ATM relaciona os requisitos de qualidade e as características de tráfego com o comportamento da rede (procedimentos e parâmetros), especificando uma combinação de parâmetros de qualidade de serviço e parâmetros de tráfego adequada para um grupo de aplicações (ponto de vista do utilizador) e que permite um determinado esquema de multiplexagem na rede (ponto de vista do operador). A categoria de serviço é implicitamente ou explicitamente declarada no estabelecimento da conexão.

Analisamos em seguida os vários parâmetros e funções disponíveis na rede ATM e que são estruturadas de modo específico para cada classe de serviço ATM.

As funções de rede tais como Connection Admission Control (CAC), Usage Parameter Control (UPC), Feedback Controls, Resource Allocation, etc., são implementadas nos nós de comutação ATM, sendo configuradas em geral de modo diferente para cada classe de serviço ATM:

O contrato de tráfego especifica as características da conexão negociadas com a rede, definida na interface UNI.

O contrato de tráfego na UNI pública consiste num descritor de tráfego da conexão, num conjunto de prâmetros de QoS para cada direcção da conexão ATM e numa definição de conexão em conformidade.

Os parâmetros de tráfego da fonte descrevem uma característica inerente à fonte. São considerados os seguintes parâmetros de tráfego na definição das categorias de serviço:

- Peak Cell Rate (PCR)
- Sustainable Cell Rate (SCR)
- Maximum Burst Size (MBS)
- Minimum Cell Rate (MCR)

Os parâmetros de qualidade de serviço (QoS) seleccionados para corresponder a um determinado objectivo de desempenho de rede podem ser negociados entre os sistemas terminais e a rede, nomeadamente através de procedimentos de sinalização ou assumidos implicitamente por omissão. Podem ser oferecidos um ou mais valores de QoS para cada conexão.

São considerados os seguintes parâmetros de qualidade de serviço na definição das categorias de serviço:

- Cell Delay Variation (CDV)
- Maximum Cell Transfer Delay (Max CTD)
- Cell Loss Ratio (CLR)

Outros parâmetros de QoS estão identificados, mas a sua negociação não está prevista, nomeadamente o Cell Error Ratio (CER), Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR) e Cell Misinsertion Rate (CMR).

Analisam-se em seguida as principais características das diferentes categorias de serviço.

11.5.2. Constant Bit Rate (CBR)

A categoria de serviço CBR é usada em conexões que requerem um ritmo fixo (estático). Este serviço é caracterizado pelo valor do PCR (Peak Cell Rate), o qual está continuamente disponível na rede. A fonte pode emitir células com ritmo constante ou variável até ao ritmo máximo de PCR, podendo inclusivamente parar a transmissão em qualquer momento e por períodos variáveis de tempo.

Esta categoria tem como objectivo as aplicações de tempo real, isto é, as aplicações que têm requisitos apertados de Cell Transfer Delay (CTD) e Cell Delay Variation (CDV), nomeadamente para voz e video ou para serviços de emulação de circuitos.

O requisito básico imposto à rede é o de que uma vez que a conexão esteja estabelecida, a qualidade de serviço negociada é assegurada para todas as células que respeitem os testes de conformidade. É pressuposto que as células que são atrasadas mais do que o valor especificado no CTD já não são utilizáveis pela aplicação.

11.5.3. Real-Time Variable Bit Rate (rt-VBR)

A categoria de serviço rt-VBR é usada para aplicações sensíveis ao tempo, isto é, com requisitos estritos de atraso e variação de atraso, como é o caso das aplicações de voz e video. As fontes em princípio transmitem a ritmo variável ao longo do tempo. Os parâmetros de tráfego utilizados são o Peak Cell Rate (PCR), Sustainable Cell Rate (SCR) e Maximum Burst Size (MBS).

É assumido que as células que são atrasadas para além do valor especificado por CTD têm um valor significativamente inferior para a aplicação. Os serviços rt-VBR podem suportar multiplexagem estatística de fontes de tempo real.

11.5.4. Non-Real-Time (nrt-VBR)

A categoria de serviço nrt-VBR é usada para aplicações que tenham características de tráfego bursty e não tenham características estritas de atraso e variação de atraso.

De modo análogo ao rt-VBR, os parâmetros de tráfego utilizados são o PCR, SCR e MBS. Para as células que são transferidas dentro do contrato, a aplicação espera um baixo Cell Loss Ratio (CLR). Para todas as células é esperado um limite superior no CTD. Os serviços nrt-VBR podem suportar multiplexagem estatística de conexões.

11.5.5. Unspecified Bit Rate (UBR)

A categoria de serviço UBR é um serviço de "melhor esforço", usada para aplicações não críticas que não requerem valores estritos de atraso e variação de atraso nem especificam uma determinada qualidade de serviço. Espera-se que as fontes UBR transmitam bursts não contínuos de células, suportando o serviço UBR um alto grau de multiplexagem estatística entre as fontes.

O serviço UBR não especifica garantias de serviço relacionadas com tráfego, nomeadamente não inclui a negociação de ritmo negociado por conexão. Também não são indicados valores de CLR, CTD e CDV para a conexão UBR.

11.5.6. Available Bit Rate (ABR)

A categoria de serviço ABR é utilizada para fontes que tenham a capacidade para reduzir ou aumentar o seu ritmo de informação consoante a rede o requerir. Isto permite-lhes explorar as mudanças nas características de transferências da camada ATM, nomeadamente a disponibilidade de banda, ao longo do tempo, possibilitando uma transmissão fiável para aplicações de ritmo não constante.

Há muitas aplicações que não têm um valor médio de ritmo bem definido, tal como no VBR, sendo apenas possível definir um valor mínimo e um valor máximo do ritmo expectável. Assim, no estabelecimento da conexão ABR o terminal deverá especificar os valores do ritmo mínimo e máximo a usar, designados respectivamente por Peak Cell Rate (PCR) e Minimum Cell Rate (MCR). O valor de MCR pode ser zero.

A banda disponível na rede para as conexões ABR pode variar, sendo a soma de todos os MCR adicionada de um valor variável que resulta da partilha da capacidade disponível entre todas as conexões ABR activas de acordo com critérios de justiça.

É especificado um mecanismo de controlo de fluxo que suporta vários tipos de realimentação para controlar o ritmo da fonte, tendo sido especificado nomeadamente um protocolo de realimentação em malha fechada baseado em ritmos utilizando células de gestão de recursos RM (Resource Management).

Esse mecanismo consiste no estabelecimento de um circuito fechado, na rede, entre a fonte e o destino da transmissão, através do qual é transmitida informação de realimentação (para a fonte) sobre o estado corrente da mesma (rede). Deste modo, a fonte deverá adaptar o seu ritmo de transmissão em função do conteúdo dessa informação. Esta realimentação é transmitida às fontes por meio de células específicas de controlo, denominadas de células de gestão de recursos, ou células RM (*Resource Management*), transmitidas entre cada conjunto de células de dados. Este conjunto de células é denominado Nrm e tem em geral o valor de 32.

Deste modo, é esperado que um sistema terminal que adapte o seu ritmo de transmissão de acordo com a informação de realimentação recebida consiga alcançar não só uma menor Taxa de Células Perdidas (CLR), como igualmente, uma quantidade mais justa da largura de banda disponível, de acordo com a estratégia de atribuição de largura da banda, específica da própria rede.

O parâmetro CDV não é controlado neste serviço, pelo que o ABR em geral não é adequado para suportar aplicações de tempo real.

Aquando do estabelecimento de uma ligação, o sistema terminal fonte terá que especificar à rede os valores de largura de banda máxima (PCR) e mínima (MCR) requeridos. Deste modo, a rede deverá assegurar a garantia de uma quantidade de largura de banda, que no mínimo deverá ser igual a MCR, cujo valor, no entanto, poderá ser igual a zero.

Para cada conexão ABR o ritmo disponível, definido por ACR (Allowed Cell Rate) é dado pela expressão:

$$MCR \le ACR \le PCR$$

O ritmo da fonte Rs é definido pela expressão:

$$Rs \le ACR$$

Foram definidos dois tipos de controlo de fluxo ABR: realimentação binária e com ritmo explícito. Analisaremos em seguida ambos os tipos de controlo de fluxo ABR.

11.5.6.1. Controlo de Fluxo com realimentação binária

A realimentação binária é caracterizada pelo facto de um elemento da rede, quando num estado de congestionamento de recursos, utilizar informação binária (bits CI (*Congestion Indicator*) e NI (*No Increase*) nas células RM (FRM - célula RM no sentido *Forward* / BRM - célula RM no sentido *Backward*), ou bit EFCI (*Explicit Forward Congestion Indicator*) nas células de dados) para reportar a outros elementos da rede, nomeadamente às fontes de transmissão de dados ABR, que deverão reduzir os seus ritmos de transmissão.
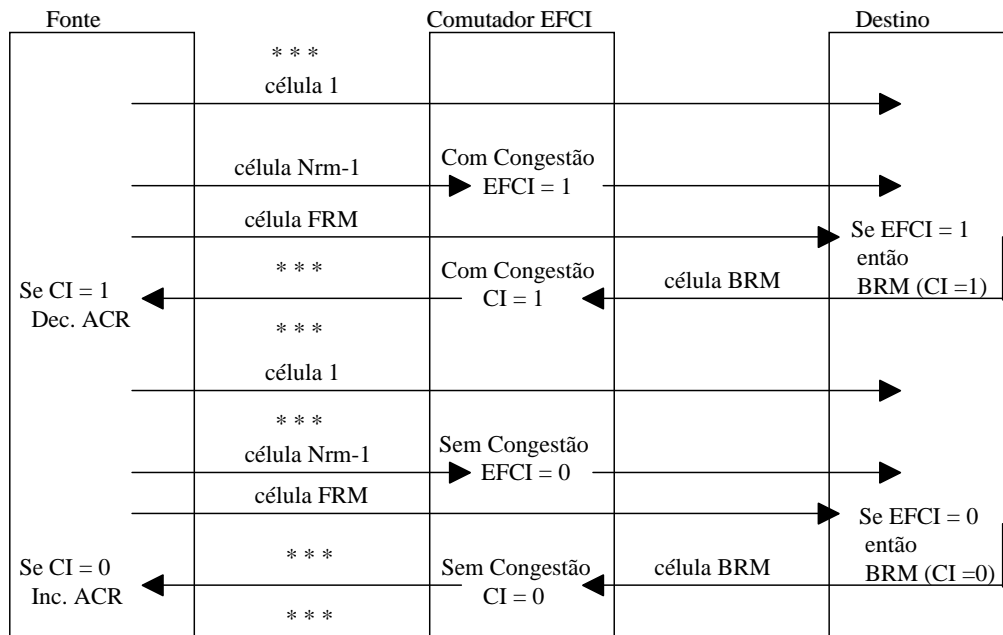
Fig. 11.4 - Controlo de fluxo ABR com realimentação binária

Este método, apesar de simples, é pouco justo e eficaz na atribuição de largura de banda entre os vários utilizadores, uma vez que não selecciona os canais (VC - *Virtual Channel*) que deverão reduzir o seu ritmo de transmissão, em caso de congestionamento na rede.

Para eliminar este problema foi desenvolvido o controlo de fluxo com indicação de ritmo explícito, que analisamos em seguida.

11.5.6.2. Controlo de Fluxo com ritmo explícito

A realimentação com ritmo explícito é caracterizada pelo facto de um elemento da rede receber e utilizar o ritmo corrente de transmissão das fontes (campo CCR (*Current Cell Rate*), nas células FRM) para calcular e posteriormente, quando num estado de congestionamento de recursos, indicar às mesmas fontes ABR, o valor do ritmo de transmissão que estas não deverão ultrapassar (campo ER - *Explicit Rate*), nas células BRM).

Este método, apesar de mais complexo, é mais justo e eficaz na atribuição de largura de banda aos vários VCs que transitam nos comutadores que o utilizam, pois apenas os VCs cujo ritmo corrente for superior ao ritmo dado pelo comutador (ritmo justo) deverão reduzir o seu ritmo de transmissão.

O ATM Forum definiu o comportamento da fonte e destino, assim como várias variantes para o comportamento do comutador, bem como os detalhes do mecanismo de controlo de fluxo baseado em ritmos. O pseudo-código de uma fonte ABR será o seguinte:

```
recebe célula BRM (CI, ER) da rede
    if CI=1
      ACR = ACR - ACR*RDF                /* multiplicative decrement */
    else (CI=0)
           ACR = ACR + RIF*PCR           /* additive increment */
           ACR = min(ACR, PCR)
ACR = min(ACR, ER)
ACR = max(ACR, MCR)
```

RDF - Rate Decrease Factor   RIF - Rate Increase Factor
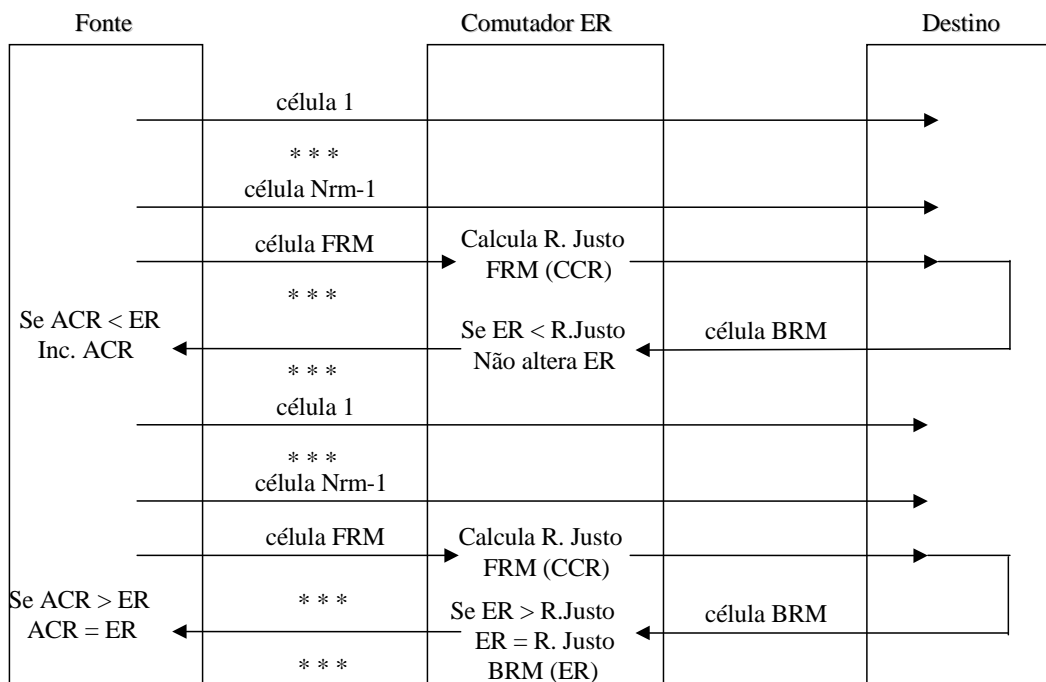
Fig. 11.5 - Controlo de fluxo ABR com ritmo explícito

Na figura 11.6 mostra-se um cenário de teste de ABR em que três fontes estão ligadas a um comutador situado à distância de 1 Km, partilhando uma linha ATM a 34 Mbit/s.
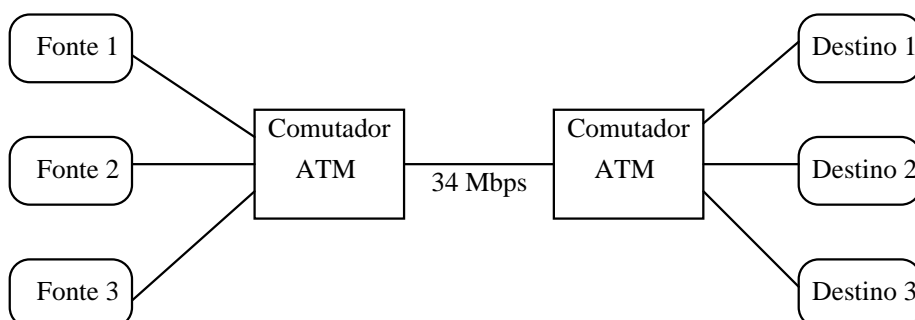
Fig. 11.6 - Diagrama temporal de fontes ABR com ritmo explícito, distância de 1 Km

Na figura 11.7 mostra-se a evolução do ACR para uma situação em que as três fontes distam 1 Km dos comutadores. A primeira fonte inicia a transmissão no instante 0, a segunda no instante 50 ms e a terceira no instante 100 ms.
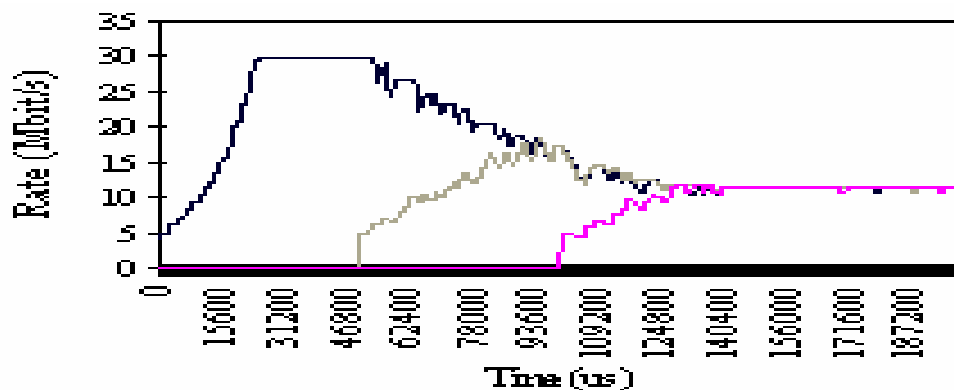
Fig. 11.7 - Diagrama temporal de fontes ABR com ritmo explícito, distância de 1 Km

Como se observa na figura, a primeira fonte cresce a partir do valor inicial de 5 Mbps até atingir o valor máximo do ritmo da linha (aproximadamente 30 Mbps), começando a descer a partir do instante 50 ms quando entra em actividade a segunda fonte para 15 Mbps, descendo novamente a partir do instante 100 ms quando entra em actividade a terceira fonte para os 10 Mbps.

Na figura 11.8 mostra-se a evolução do ACR para três fontes ligadas a um comutador situado à distância de 100 Km, partilhando igualmente uma linha ATM a 34 Mbit/s.
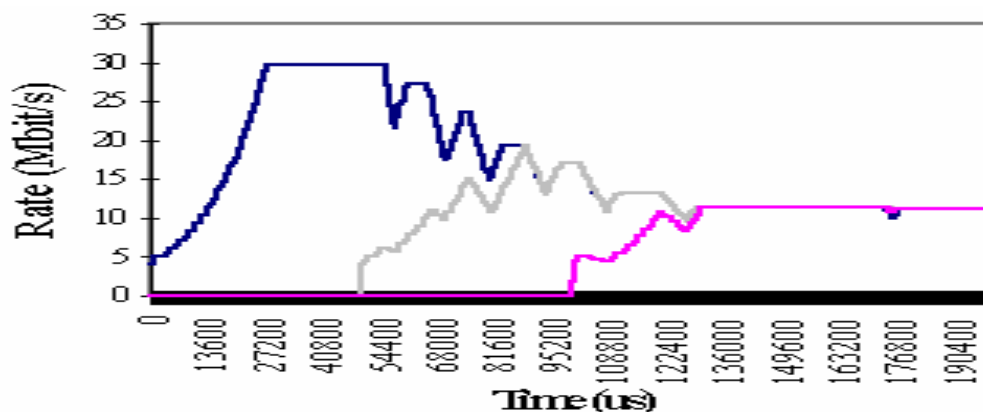
Fig. 11.8 - Diagrama temporal de fontes ABR com ritmo explícito, distância de 100 Km

Como se observa na figura, o comportamento é basicamente o mesmo, contudo verificam-se maiores oscilações dos ritmos ACR. A conclusão a tirar é a de que as maiores distâncias das fontes aos comutadores provocam maiores oscilações de ritmo, devido aos maiores atrasos de transmissão das células RM.

11.5.7. Guaranteed Frame Rate (GFR)

A categoria de serviço GFR é usada por utilizadores que não têm capacidade de especificar os parâmetros de tráfego necessários para requerer a maioria dos serviços ATM, nem tenham a capacidade para reduzir ou aumentar o seu ritmo de informação consoante a rede o requerir.

O serviço GFR é adequado para aplicações de não tempo-real, em que as as células do utilizador estejam organizadas em tramas. Este serviço proporciona ao utilizador uma garantia de MCR, para um determinado Maximum Frame Size (MFS) e um Maximum Burst Size (MBS), ambos expressos em unidades de células. Está implícito nesta garantia de serviço que se o utilizador enviar células que não excedam o MFS num burst que não exceda o MBS, todas as tramas serão transmitidas pela rede com perdas muito baixas. O serviço GFR permite que o utilizador envie tráfego que exceda os parâmetros referidos, contudo a transmissão desse tráfego não é garantida, estando sujeita à eventual disponibilidade dos recursos da rede.

11.5.8. Atributos das categorias de serviço

Na tabela 11.4 apresentam-se os atributos das diferentes categorias de serviço ATM.

Table 11.4 - Atributos das Categorias de Serviço ATM

	Atributo	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR	GFR
Parâmetros de Tráfego	PCR, CDVT	E	E	E	E	E	E
	SCR, MBS	na	E	E	na	na	E
	MCR	na	na	na	na	E	E
	MFS	na	na	na	na	na	E
Parâmetros de QoS	Peak-to-Peak CDV	E	E	ne	ne	ne	ne
	Max CTD	E	E	ne	ne	ne	ne
	CLR	E	E	E	ne	Baixo	Baixo
Outros atributos	Realimentação	ne	ne	ne	ne	E	ne

E - Especificado ne - Não Especificado na - Não Aplicável

11.5.9. Aplicações das categorias de serviço

São dados alguns exemplos de aplicações e analisadas as categorias de serviços ATM mais adequadas.

Exemplos de aplicações para CBR

O serviço CBR é adequado para aplicações com ritmo constante ou pouco variável ou que têm requisitos de tempo de resposta muito estritos que justificam a reserva de um canal CBR, como por exemplo:

- Video interactivo (por exemplo videoconferência)
- Audio interactivo (p. ex. telefonia)
- Distribuição de audio/video (p. ex. televisão, sala de aula distribuída)
- Consulta de audio/video (p.ex. video a pedido, biblioteca de audio)
- Emulação de circuitos alugados ou comutados

Para serviços de telefonia e de banda de audio sobre ATM, por exemplo serviços RDIS a 64 Kbit/s, a opção baseada em AAL1 requer suporte em CBR de modo a tirar vantagem dos limites de atraso e de variação de atraso que o CBR oferece.

Na área de serviços multimédia, uma solução de curto prazo para serviços residenciais prevê VoD baseado em MPEG2 (Transport Stream, CBR mode) sobre AAL5 utilizando CBR.

Exemplos de aplicações para VBR

O serviço VBR é adequado para aplicações em que o sistema terminal pode beneficiar de multiplexagem estatística, através do envio de informação a ritmo variável e pode tolerar ou recuperar de uma pequena taxa de erro aleatóriamente distribuída.

O serviço rt-VBR em particular pode ser usado por Voz nativa ATM com compressão de banda e supressão de silêncio. Para alguns tipos de comunicações multimédia o serviço rt-VBR pode também ser adequado.

O serviço nrt-VBR pode ser usado para transferência de dados, por exemplo em aplicações transaccionais com tempo de resposta críticos (p. ex. reservas em companhias de aviação, transacções bancárias, monitorização de processos) ou para interfuncionamento com Frame Relay.

Exemplos de aplicações para UBR

O serviço UBR pode proporcionar uma solução adequada para aplicações com menores requisitos. A maioria das aplicações de dados, como por exemplo a transferência de ficheiros submetida em background num PC ou Workstation, são muito tolerantes a atrasos e a perda de células.

Entre os exemplos de aplicações adequadas para UBR incluem-se:

- Consulta, Distribuição ou transferência de texto/dados/imagens

- Interligação de LAN
- Terminal remoto (p. ex. teletrabalho)

Exemplos de aplicações para ABR

Qualquer aplicação não crítica em termos temporais capaz de variar o seu ritmo de informação pode explorar o serviço ABR. Esta categoria proporciona um suporte económico para aquelas aplicações que apresentem requisitos vagos de transferência de dados e atraso e que requeiram um CLR limitado.

Entre os exemplos incluem-se os serviços de Interligação de LAN, emulação de LAN ou interfuncionamento com LANs. Estes serviços correm em geral sobre pilhas de protocolos como o TCP/IP baseados em Routers, os quais podem facilmente variar o seu ritmo de transmissão tal como requerido pelo controlo de ritmo de ABR.

Outros exemplos de aplicações são a transferência de dados críticos (p. ex. informação de defesa, serviços bancários), aplicações de super computadores e comunicação de dados, tais como RPC (Remote Procedure Call), aplicações de super-computadores.

Exemplos de aplicações para GFR

Aplicações baseadas em tramas, não críticas em termos temporais, sem capacidade de variar o seu ritmo de informação em função de informação de congestão da rede.

Entre os exemplos incluem-se os serviços de Interligação de LANs, transporte de tráfego FR e IP.

A tabela 11.5 apresenta um resumo das considerações apresentadas anteriormente. As classificações apresentadas são subjectivas, resultantes da opinião de várias pessoas (ATM Forum) (não inclui GFR).

Tabela 11.5 - Áreas de aplicação para categorias de serviço ATM

ÁREAS DE APLICAÇÃO	**CBR**	**rt-VBR**	**nrt-VBR**	**ABR**	**UBR**
DADOS CRÍTICOS	+++	+	++	+++	
INTERLIGAÇÃO DE LAN / EMULAÇÃO DE LAN	+	+	++	+++	++
TRANSPORTE DE DADOS / INTERWORKING (IP - FR - SMDS)	+	+	++	+++	++
EMULAÇÃO DE CIRCUITOS - PABX	+++	++			
POTS / RDIS -VIDEOCONFERÊNCIA	+++				
AUDIO COMPRIMIDO	+	+++	++	++	+
DISTRIBUIÇÃO DE VIDEO	+++	++	+		
MULTIMEDIA INTERACTIVO	+++	+++	++	++	+

+++ - Óptimo; ++ - Bom; + - Razoável; em branco - não adequado

Para além dos critérios técnicos acima apresentados, a selecção de uma determinada categoria de serviço para uma determinada aplicação será fortemente influenciada pela política de tarifação que cada operador vier a introduzir.

A exploração integral das vantagens da utilização das diferentes categorias de serviço apresentadas só será possível com o desenvolvimento de aplicações nativas para ATM, isto é, aplicações que acedam à rede através de uma API ATM. Esta interface tem como objectivo eliminar o estrangulamento provocado pelos antigos protocolos e correspondentes APIs, permitindo aceder e negociar directamente os recursos da rede ATM.

12. Sinalização

ATM é um modo de transferência orientado à conexão, requerendo portanto o estabelecimento de uma conexão antes de o tráfego do utilizador começar a ser transmitido entre entidades comunicantes. O identificador da conexão ATM é, como se sabe, constituído pelos campos VPI e VCI do cabeçalho.

As conexões a pedido são estabelecidas usando sinalização, sendo para isso necessário definir um canal de sinalização na UNI, o qual é identificado pelos valores VPI=0 e VCI=5 para a sinalização não associada. Se se utilizar sinalização associada, cada VPI terá um canal de sinalização, também identificado por um VCI=5.

Estão actualmente definidas pelo ITU-T e pelo ATM Forum chamadas/conexões ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto. Para transporte fiável da sinalização de RDIS-BL, o ITU-T definiu um AAL específico, designado AAL de Sinalização (SAAL), o qual utiliza como parte comum o AAL5.

12.1. Endereçamento ATM

Cada equipamento terminal ATM requer um endereço ATM único que o identifique na rede. As redes privadas e públicas utilizam diferentes formatos de endereços.

As redes públicas utilizam endereços baseados na E.164, com estrutura análoga à da rede telefónica ou da RDIS-BE, num total não superior a 15 dígitos.
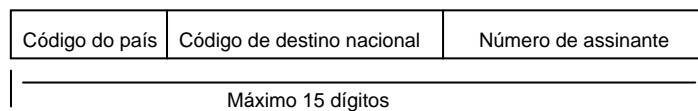
Fig. 12.1 - Estrutura de número de acordo com E.164

As redes privadas utilizam endereços baseados no formato OSI NSAP (Network Service Access Point) (RFC1237). Os endereços NSAP são baseados no conceito de domínios de endereço hierárquicos, num total de 15 dígitos. Os prefixos dos endereços identificam individualmente os comutadores e grupos de comutadores definidos em hierarquias. Os prefixos são fornecidos aos terminais através do protocolo de gestão ILMI (af-ilmi-0065 - Integrated Local Management Interface).

Os endereços NSAP devem suportar três tipos de formatos, identificados pelo primeiro octeto, chamado Authority and Format Identifier (AFI), tal como ilustrado na figura 12.1.

- Data Country Code (DCC)
- International Code Designator (ICD)
- Endereço E.164 privado
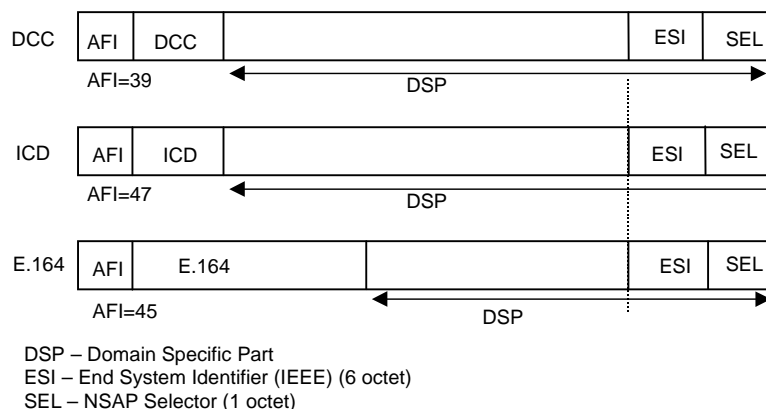
Fig. 12.2 - Estrutura de endereços OSI NSAP

Os códigos DCC são fornecidos pela ISO. Os códigos ICD e E.164 são fornecidos pelo organismo de normalização nacional de telecomunicações (ICP).

12.2. AAL de Sinalização (SAAL)

O AAL utilizado para sinalização de RDIS-BL é designado AAL de Sinalização (SAAL - Signalling ATM Adaptation Layer). Na recomendação Q.2100 é feita uma descrição genérica do SAAL e dos seus componentes, que proporcionam as funções necessárias para suporte à sinalização.

Tal como para os outros tipos de AAL, o SAAL é definido para melhorar o serviço proporcionado pela camada ATM, de modo a suportar as funções requeridas pelas camadas superiores, neste caso a camada de sinalização.

A transferência de informação entre o utilizador do SAAL e o SAAL é efectuada em Modo Mensagem, sendo oferecidos dois procedimentos de operação: Assegurada e Não Assegurada.

A estrutura do SAAL é especificada na figura 12.3. O SAAL utiliza o serviço proporcionado pelo CPCS e SAR, que formam a parte comum do AAL5.
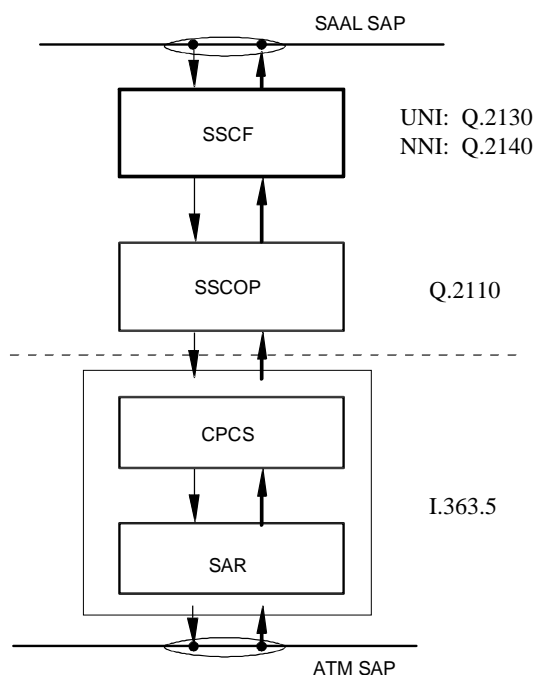
Fig. 12.3 - Estrutura do SAAL

O SSCS do AAL5 é constituído por uma combinação do Service Specific Connection Oriented Protocol (SSCOP) e do Service Specific Coordination Function (SSCF), do qual se encontram actualmente definidos dois tipos, um para a interface UNI e outro para a NNI.

O SAAL-SAP é o ponto de acesso ao serviço através do qual as funções do SAAL são acedidas pelo nível superior. Proporciona um fluxo de informação bi-direccional. (Q.2130 e Q.2140)

O SSCF-UNI mapeia os requisitos específicos do protocolo de sinalização de nível 3 nos serviços SSCOP. (Q.2130 - B-ISDN ATM Adaptation Layer Service Specific Coordination Function (SSCF) for signalling at the User Network Interface (UNI).

O SSCF-NNI mapeia os requisitos específicos do protocolo de sinalização NNI de nível 3 nos serviços SSCOP. (Q.2140 - B-ISDN ATM Adaptation Layer Service Specific Coordination Function (SSCF) for signalling at the Network Node Interface (NNI).

O Service Specific Connection Oriented Protocol (SSCOP) proporciona mecanismos para o estabelecimento e desligamento de conexões e a transferência fiável de informação entre entidades pares (Q.2110).

Como vimos atrás, o CPCS de AAL5 proporciona o transporte transparente de unidades de dados de serviço produzidos pelo nível superior. O SAR faz a segmentação e reagrupamento das unidades de dados de CPCS em células ATM.

12.2.1. Sub-camada SSCOP

O protocolo SSCOP (Service Specific Connection Oriented Protocol) é especificado na recomendação Q.2110 (Q.2110 - B-ISDN ATM Adaptation Layer Service Specific Connection Oriented Protocol (SSCOP)). O objectivo do SSCOP é proporcionar uma entrega de dados assegurada entre conexões terminais AAL.

O SSCOP recebe unidades de dados de serviço (SDU) de comprimento variável da camada de sinalização, forma as unidades de dados do protocolo (PDU) e transfere-as para o SSCOP par no equipamento receptor. Na recepção o SSCOP entrega as SDUs recebidas ao nível de sinalização. O SSCOP utiliza os serviços do CPCS de AAL5, o qual proporciona um serviço de transferência de informação não assegurado, com possibilidade de detecção (mas não correcção) de PDUs corrompidas.

As funções do SSCOP são basicamente as seguintes:

- **Integridade de Sequência** - Preserva a ordem das PDUs SSCOP submetidas pelo nível de sinalização.
- **Correcção de erros por** retransmissão - o SSCOP receptor detecta as PDU em falta e o SSCOP emissor corrige erros de sequência através de retransmissão.
- **Controlo de fluxo** - permite ao SSCOP receptor controlar o ritmo ao qual o SSCOP emissor pode enviar informação.
- **Mantém vivo** - assegura que duas entidades SSCOP participando numa conexão se mantêm num estado de conexão ligada, mesmo na ausência de transferência de dados por longos períodos de tempo.
- **Recuperação de dados locais** - permite ao utilizador de SSCOP local recuperar em sequência as SDUs que ainda não foram transmitidas pelo SSCOP ou as que ainda não foram confirmadas pelo SSCOP remoto.
- **Controlo da conexão** - permite o estabelecimento, desligamento e sincronização de uma conexão SSCOP.
- **Transferência de dados do utilizador** - usado para o transporte de dados entre utilizadores de SSCOP.
- **Detecção de erros de PCI** - detecta erros de PCI (Protocol Control Information)
- **Relatório de estado** - permite ao emissor e ao receptor trocar informação de estado.

Apresentam-se em seguida os diferentes tipos de PDUs trocados entre as entidades SSCOP, para implementação das funções acima enumeradas.

i) Estabelecimento:

BGN (Begin) - usada para estabelecer uma conexão SSCOP entre duas entidades par. É feita a limpeza dos buffers do emissor e do receptor, assim como a inicialização de todas as suas variáveis de estado.

BGAK (Begin Acknowledge) - usado para confirmar a aceitação do pedido de conexão pela entidade SSCOP par.

BGREJ (Begin Reject) - usado para rejeitar o pedido de conexão pela entidade SSCOP par.

ii) Desligamento:

END (End) - usado para terminar uma conexão SSCOP entre duas entidades par.

ENDAK (End Acknowledge) - usado para confirmar a terminação de uma conexão SSCOP.

iii) Resincronização:

RS (Resynchronization) - usado para resincronizar os buffers e as variáveis de estado da transferência de dados.

RSAK (Resynchronization Acknowledge) - usado para confirmar a aceitação da resincronização pedida pela entidade SSCOP par.

iv) Recuperação:

ER (Error Recovery) - usado para recuperar de erros de protocolo.

ERAK (Error Recovery Acknowledge) - usado para confirmar a recuperação de erros de protocolo.

v) Transferência de Dados Assegurada:

SD (Sequenced Data) - usado para transferir, através de uma conexão SSCOP, PDUs numeradas sequencialmente, contendo campos de informação fornecidos pelo utilizador de SSCOP.

POLL (Status Request) - usado para pedir, através de uma conexão SSCOP, informação de estado acerca da entidade SSCOP par. As PDUs SD e POLL são numeradas sequencialmente e independentemente de 0 a 2^{24} -1.

STAT (Solicited Status Response) - usado para responder a um pedido de estado (POLL PDU) recebido de uma entidade SSCOP par. Contém informação relativa ao estado de recepção PDUs SD, informação de crédito do transmissor par e o número de sequência [N(PS)] da PDU POLL à qual ele está a responder.

USTAT (Unsolicited Status Response) - usado para responder à detecção de um ou mais PDUs SD em falta, baseado na observação do número de sequência da PDU SD. Contém informação relativa ao estado de recepção PDUs SD, informação de crédito do transmissor par.

vi) Transferência de Dados Não Confirmada:

UD (Unnumbered Data) - usado para transferência de dados não assegurada entre dois utilizadores SSCOP par. Quando um utilizador SSCOP pede transferência de dados não assegurada, a PDU UD é utilizada para enviar informação para a entidade par sem afectar os estados ou variáveis SSCOP. As PDUs UD não contêm número de sequência e portanto podem ser perdidas sem notificação.

vii) Transferência de Dados de Gestão:

MD (Management Data) - usado para transferência de dados de gestão entre duas entidades de gestão. Quando uma entidade de gestão pede transferência de dados de gestão não confirmada, a PDU MD é usada para enviar informação para a entidade de gestão par sem afectar os estados ou variáveis SSCOP. As PDUs MD não contêm número de sequência e portanto podem ser perdidas sem notificação.

Na figura 12.4 mostra-se a uma transmissão sem erros, em que as PDU SD são recebidas em sequência e entregues ao nível superior. As PDUs SD não são confirmadas individualmente mas sim em grupo. Na figura o grupo de PDUs SD 1 a 3 é confirmado com uma PDU STAT em resposta a uma PDU POLL.
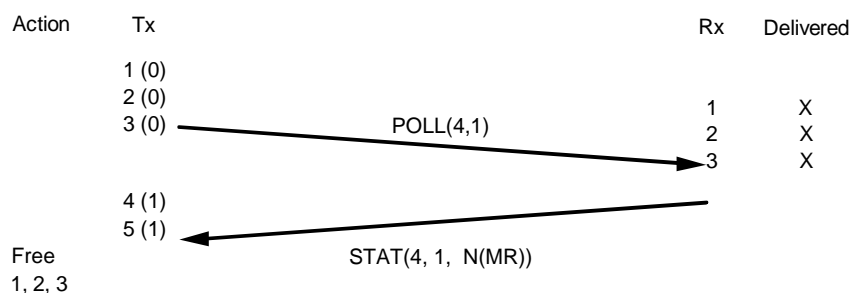
Fig. 12.4 - Confirmação sem erros

A PDU POLL tem N(S) = 4 e N(PS) = 1, indicando que a próxima PDU a enviar é a 4, logo já enviou até à 3 inclusivé. A PDU STAT tem N(R) = 4 e N(PS) = 1, o que indica que está à espera da PDU 4, logo confirma a recepção até à 3 inclusivé, pelo que o emissor pode libertar estas tramas do buffer.

Na figura 12.5 mostra-se a recuperação de erros usando a PDU USTAT. Após receber a PDU SD 3 e concluindo que a PDU SD 2 está em falta, o receptor envia a PDU USTAT pedindo a retransmissão da SD 2. Após receber esta PDU USTAT o transmissor retransmite a SD 2. Após receber a SD 2 o receptor entrega-a ao nível superior, bem como as PDUs seguintes já recebidas (3 e 4).
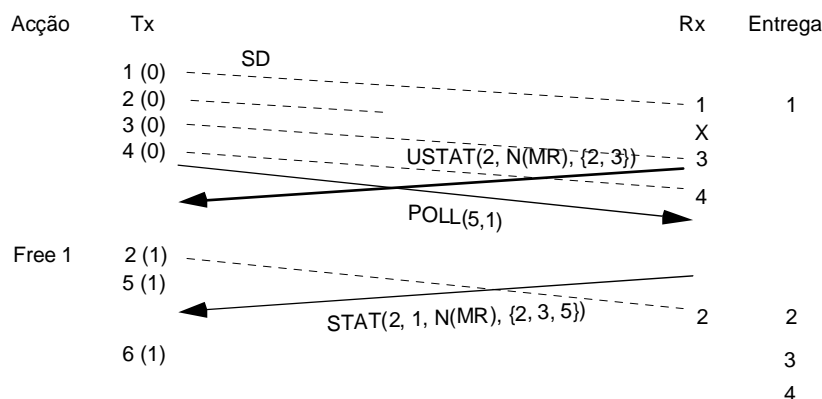
Fig. 12.5 - Recuperação de erros via USTAT

Os items da lista de elementos de PDUs STAT e USTAT são elementos ímpares ou pares da lista usada para pedidos de retransmissão selectiva. Cada elemento ímpar representa a primeira PDU de intervalo em falta, e cada elemento par representa a primeira PDU de uma sequência recebida, excepto possivelmente a última. No exemplo anterior o primeiro elemento da lista de USTAT é 2, indicando que uma sequência em falta começa em 2. O segundo elemento da lista é 3, indicando que o 3 foi recebido. No STAT os dois primeiros elementos da lista são iguais, sendo acrescentado um terceiro elemento que indica que a sequência recebida termina em 4 e que 5 inicia uma nova sequência em falta.

12.2.2. Sub-camada SSCF

O SSCF (Service Specific Coordination Function) efectua uma função de coordenação entre o serviço requerido pelo nível de sinalização e os serviços proporcionados pelo SSCOP. Proporciona o mapeamento entre as primitivas SAAL e os sinais entre o SSCF e o SSCOP, simplificando o acesso do utilizador ao serviço SSCOP. Nesta interface usa-se o termo sinal em vez de primitiva para realçar o facto de a interface SSCF-SSCOP ser interna entre duas subcamadas, isto é, não é um SAP.

O SSCF é definido na Q.2130 para a interface UNI *(Q.2130, B-ISDN ATM Adaptation Layer Service Specific Coordination Function (SSCF) for signalling at the User Network Interface)* e na Q.2140 para a interface NNI, *(Q.2140 - B-ISDN ATM Adaptation Layer Service Specific Coordination Function (SSCF) for signalling at the Network Node Interface).*

Enumeram-se em seguida os sinais usados entre o SSCF e o SSCOP.

AA-ESTABLISH - usado para estabelecer conexões ponto-a-ponto para transferência de informação assegurada entre entidades par de utilizador.

AA-RELEASE - usado para terminar conexões ponto-a-ponto para transferência de informação assegurada entre entidades par de utilizador.

AA-DATA - usado para transferência ponto-a-ponto assegurada de SDUs entre entidades par de utilizador.

AA-RESYNC - usado para resincronizar a conexão SSCOP.

AA-RECOVER - usado durante a recuperação de erros de protocolo.

AA-UNITDATA - usado para transferência não assegurada, ponto-a-ponto e difusão, de SDUs entre entidades par de utilizador.

AA-RETRIEVE - usado para recuperar SDUs submetidas pelo utilizador para transmissão mas ainda não enviadas pelo emissor.

AA-RETRIEVE COMPLETE - usado para indicar que não há SDUs adicionais para devolver ao utilizador SSCOP.

MAA-ERROR - usado para reportar erros de protocolo SSCOP e certos acontecimentos para a camada de gestão.

MAA-UNITDATA - usado para transferência não assegurada, ponto-a-ponto e difusão, de SDUs entre SSCOP e entidades par de gestão.

As funções do SAAL são acedidas pela camada de sinalização através do SAAL-SAP, utilizando-se para tal os seguintes 4 tipos de primitivas:

AAL-ESTABLISH (Request, Indication, Response, Confirm) - utilizada para estabelecer transferência de informação assegurada entre entidades AAL na UNI.

AAL-RELEASE (Request, Indication) - utilizada para terminar transferência de informação assegurada entre entidades AAL na UNI.

AAL-DATA (Request, Indication) - utilizado para a transferência de informação assegurada na UNI

AAL-UNIT-DATA (Request, Indication) - utilizado para a transferência de informação não assegurada na UNI

Na figura 12.6 exemplifica-se o estabelecimento de uma conexão SSCOP, em que A e B designam a interface SSCF-SSCOP.
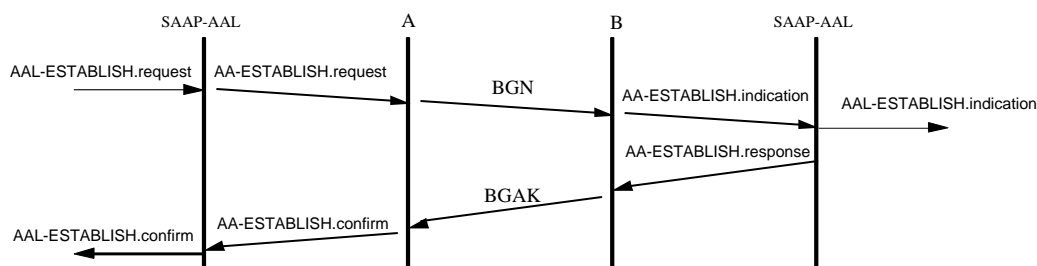
Fig. 12.6 - Diagrama de SSCOP para Estabelecimento de Conexão

Na figura seguinte exemplifica-se a transferência de dados numa conexão SSCOP.
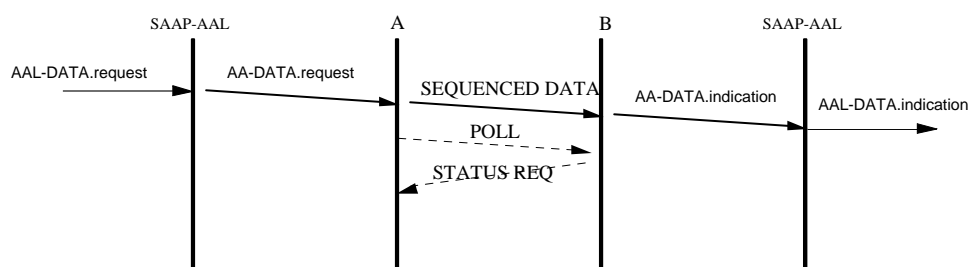
Fig. 12.7 - Diagrama de SSCOP para transferência de dados

Na figura seguinte exemplifica-se o desligamento de uma conexão SSCOP.
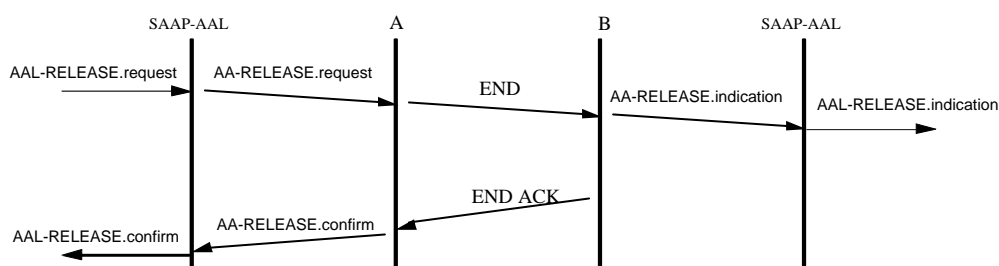
Fig. 12.8 - Diagrama de SSCOP para desligamento de conexão

12.3. Sinalização Ponto a Ponto

A sinalização de acesso do utilizador à RDIS de Banda Larga (interface UNI) é definida pelo ITU-T na recomendação Q.2931 e pelo ATM Forum na especificação UNI 3.1 e UNI 4.0, com várias extensões para utilização em redes ATM privadas. É reservado na UNI o VCI=5, em qualquer VPI, para o transporte da sinalização.

A recomendação Q.2931 do ITU-T (B-ISDN Digital Subscriber Signaling Nº 2 (DSS 2). User Network Interface Layer 3 Specification for Basic Call/Connection Control), define o protocolo de sinalização de acesso da RDIS-BL, designado DSS2. Nesta recomendação são definidos os procedimentos para o estabelecimento, manutenção e desligamento de conexões de rede na interface utilizador-rede (S_B e T_B) da RDIS-BL. Esta recomendação especifica as mensagens requeridas para controlo de chamada/conexão, os elementos de informação, temporizadores, estados da chamada/conexão e procedimentos para o controlo de chamadas ponto-a-ponto em RDIS-BL.

Os procedimentos de nível da sinalização utilizam os serviços fornecidos pelo nível 2 usando as primitivas definidas na recomendação Q.2130 (SSCF). As capacidades básicas da Versão 1 da sinalização definidas na Q.2931 são as seguintes:

- Conexões de canais virtuais a pedido.
- Conexões de canais comutados ponto-a-ponto.
- Conexões com largura de banda simétrica ou asimétrica.
- Chamadas ponto-a-ponto com conexão simples.
- Funções básicas de sinalização através de mensagens, elementos de informação e procedimentos.
- Serviços de transporte ATM de Class X, Class A e Class C.
- Negociação de alguns parâmetros de sinalização.
- Negociação de VCI.
- Sinalização fora de banda para todas as mensagens de sinalização.
- Recuperação de erros.
- Formatos de endereçamento de UNI pública para identificação unívoca de pontos terminais ATM.
- Suporte de identificação de parâmetros de compatibilidade extremo-a-extremo.
- Sinalização de interfuncionamento com RDIS-BE e provisão de serviços RDIS-BE.
- Compatibilidade com versões futuras.

Serviços de transporte ATM de Class X, Class A e Class C:

Classe X é um serviço de transporte ATM orientado à conexão em que o AAL, tipo de tráfego (VBR or CBR) e requisitos temporais são definidos pelo utilizador (i.e., transparentes à rede).

Classe A é um serviço de transporte ATM orientado à conexão com ritmo constante. O Serviço Classe A tem requisitos temporais extremo-a-extremo. Este serviço pode requerer desempenho estrito de perda de células, atraso de células e CDV.

Classe C é um serviço de transporte ATM orientado à conexão com ritmo variável. O Serviço Classe C não tem requisitos temporais extremo-a-extremo. Este serviço pode requerer desempenho estrito.

Para estabelecer uma conexão da classe desejada, o utilizador escolhe o ritmo desejado e o QoS apropriado nos elementos de informação da mensagem SETUP.

A Classe D não é suportada directamente pela sinalização fase 1. Pode ser suportada indirectamente via Classe X ou C para um servidor *Connectionless*.

12.3.1. Estados da chamada/conexão

Os estados possíveis de uma chamada do lado do utilizador são os seguintes:

Tab. 12.1 - Estados da chamada/conexão

Estado - Nome	Descrição
U0 - null	Não existe chamada.
U1 - call initiated	Estado de uma chamada de saída, após o utilizador ter pedido o estabelecimento de uma chamada à rede.
U3 - outgoing call proceeding	Estado de uma chamada de saída, após o utilizador ter recebido confirmação de que a rede recebeu toda a informação necessária para estabelecer a chamada.
U4 - call delivered	Estado de uma chamada de saída, após o chamador ter recebido indicação de que foi inicado o alerta do utilizador remoto
U6 - call present	Estado de uma chamada de entrada, após o utilizador recebeu um pedido de estabelecimento de chamada, mas ainda não respondeu.
U7 - call received	Estado de uma chamada de entrada, após o utilizador ter enviado o alerta, mas ainda não atendeu a chamada.
U8 - connect request	Estado de uma chamada de entrada, após o utilizador ter atendido a chamada e está à espera que esta seja confirmada.
U9 - incoming call proceeding	Estado de uma chamada de entrada, após o utilizador ter enviado confirmação de que recebeu toda a informação necessária para efectuar o estabelecimento da chamada.
U10 - active	Estado de uma chamada de entrada ou de saída, indicando que a chamada está estabelecida.
U11 - release request	Estado que indica que o utilizador pediu à rede o desligamento da chamada e está à espera de resposta.
U12 - release indication	Estado que indica que o utilizador recebeu da rede uma indicação de desligamento da chamada.

12.3.2. Mensagens de controlo de chamada e conexão

As mensagens utilizadas em RDIS-BL para controlo de chamada ou conexão ATM são as seguintes, divididas em três tipos:

Mensagens de estabelecimento de chamada:
- SETUP
- CALL PROCEEDING
- CONNECT
- CONNECT ACKNOWLEDGE

Mensagens de desligamento de chamadas:
- RELEASE
- RELEASE COMPLETE

Mensagens diversas
- STATUS
- STATUS ENQUIRY

A estrutura das mensagens de sinalização de DSS2 é indicada na figura 12.9.

Fig. 12.9 - Estrutura das mensagens de sinalização de banda larga

12.3.3. Elementos de Informação

A estrutura dos elementos de informação é indicada na figura 12.10.

Fig. 12.10 - Estrutura dos elementos de informação de sinalização de banda larga

Estão definidos os seguintes elementos de informação no DSS2, específicos de Banda Larga:

- ATM Adaptation Layer Parameters
- ATM User traffic Descriptor
- Connection Identifier
- OAM Traffic Descriptor
- Quality of Service Parameter
- Broadband Bearer Capability
- Broadband Low Layer Information (B-LLI)
- Broadband High Layer Information (B-HLI)

Analisaremos em seguida os diferentes elementos de informação acima referidos.

12.3.3.1. ATM Adaptation Layer Parameters

O E.I. *ATM Adaptation layer (AAL) Parameters* indica os valores dos parâmetros do AAL a ser usados na chamada. O conteúdo deste E.I. é transparente para a rede.

Os parâmetros presentes neste E.I.dependem do tipo de AAL1 indicado.

Parâmetros de AAL1:
- S u b t y p e (voice, audio, video, etc.)
- CBR Rate
- Source Clock Frequency Recovery Method
- Error Correction Method
- Structured Data Transfer Block Size
- Partially Filled Cells Method

Parâmetros de AAL2:

(Definidos em Q.2630.1 – Sinalização AAL2)

Parâmetros de AAL3/4:
- Forward max. CPCS-SDU size
- Backward maximum CPCS-SDU size
- MID range (lowest MID value)
- MID range (highest MID value)
- SSCS Type

Parâmetros de AAL5:
- Forward maximum CPCS-SDU size
- Backward maximum CPCS-SDU size
- SSCS Type

12.3.3.2. ATM User Traffic Descriptor

O EI. ATM User traffic Descriptor é usado para especificar o conjunto de parâmetros de tráfego que permitem efectuar o controlo de tráfego na rede. Na release 1 são indicados os valores de pico do ritmo de célula.

Parâmetros do EI. ATM User traffic Descriptor:
- Forward Peak Cell Rate (for CLP=0)
- Backward Peak Cell Rate (for CLP=0)
- Forward Peak Cell Rate (for CLP=0+1)
- Backward Peak Cell Rate (for CLP=0+1)

12.3.3.3. Broadband Bearer Capability

O EI. Broadband Bearer Capability é usado para pedir à rede um serviço de suporte orientado à conexão. Este E.I. é analisado pela rede e pelo equipamento terminal. Não deverá duplicar a informação do B-LLI desnecessariamente.

Parâmetros deste E.I:
- Bearer Class
- Traffic Type
- Timing Requirements
- Type (?)
- User plane conn. conf.

12.3.3.4. Broadband High Layer Information (B-HLI)

O EI. Broadband High Layer Information (B-HLI) é usado para possibilitar teste de compatibilidade com o equipamento destinatário. Este E.I. é transferido transparentemente pela rede entre equipamentos terminais.

Parâmetros deste E.I:
- High Layer Information Type
- High Layer Information

12.3.3.5. Broadband Low Layer Information (B-LLI)

O EI. Broadband Low Layer Information (BLLI) é usado para possibilitar teste de compatibilidade com o equipamento destinatário. Este E.I. é transferido transparentemente pela rede entre equipamentos terminais.

Parâmetros deste E.I:
- User information layer 1 protocol
- User information layer 2 protocol
  - Mode
  - Q.933 use
  - Window size
- User information layer 3 protocol
  - Mode
  - default packet size
  - Packet window size
  - User specified layer 3 protocol information

12.3.3.6. Connection identifier

O E.I. *Connection Identifier* identifica os recursos da conexão ATM local na interface. É inserido opcionalmente na mensagem SETUP e na primeira resposta a esta mensagem.

Parâmetros deste E.I:
- VP-assoc. Signalling
- Preferred/ exclusive
- VPI
- VCI

12.3.3.7. Quality of Service (QOS) Parameter

O E.I. *Quality of Service (QOS) parameter* é usado para indicar uma determinada classe de qualidade de serviço.

Parâmetros deste E.I:
- QOS-class forward
- QOS-class backward

12.3.3.8. OAM Traffic Descriptor

O E.I. *OAM Traffic Descriptor* é usado para proporcionar informação sobre o tratamento do fluxo de informação de OAM extremo a extremo F5, associada com a conexão do utilizador relativa a uma chamada. O fluxo OAM é simétrico.

Parâmetros deste E.I:
- End-to-End OAM Traffic Descriptor

12.3.4. Diagramas de mensagens

Na figura 12.11 apresenta-se um diagrama de mensagens de estabelecimento e desligamento de uma chamada DSS2 ponto a ponto.

A primeira mensagem de SETUP conterá os seguintes elementos de informação:
- Call Reference
- Called Party Number
- Calling Party Number
- ATM User Traffic Descriptor
- Quality of Service Parameter
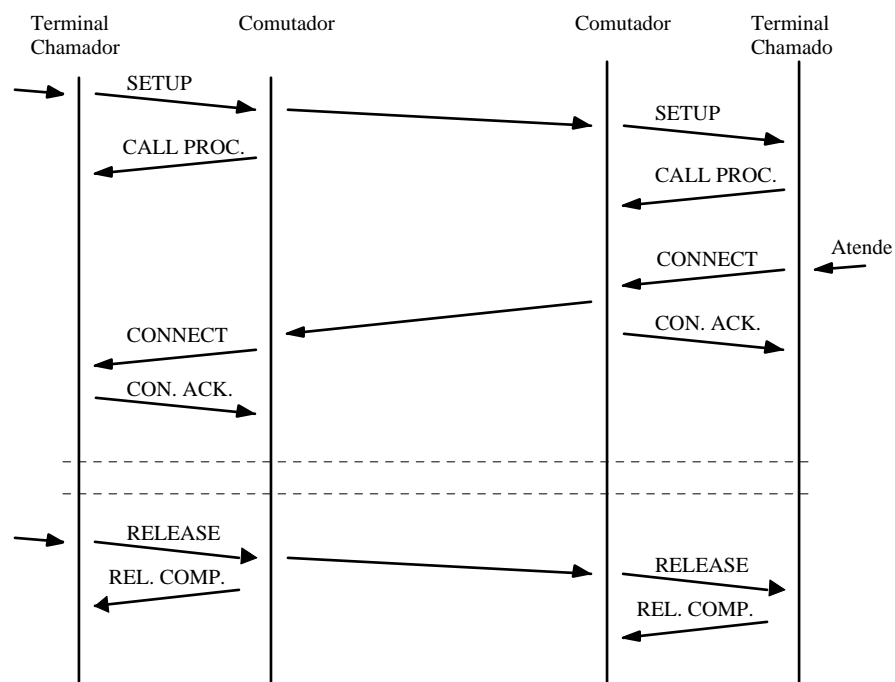
Fig. 12.11 - Diagrama de mensagens de estabelecimento de uma chamada DSS2

A mensagem Call Proceding do comutador conterá os seguintes elementos de informação:
- Call Reference
- Connection Identifier (VPI/VCI)

A chamada é processada para verificação de disponiblidade de recursos na rede e encaminhada até ao comutador do terminal chamado.

A mensagem de SETUP que chega ao terminal chamado conterá os seguintes elementos de informação:
- Call Reference
- Called Party Number
- Calling Party Number
- ATM User Traffic Descriptor
- Quality of Service Parameter
- Connection Identifier (VPI/VCI)

O terminal chamado responde com a mensagem Call Proceeding, a qual conterá apenas o Call Reference.

Quando o terminal chamado atende, é emitida a mensagem Connect, a qual conterá também apenas o Call Reference. O comutador responde com a mensagem Connect Acknowledge contendo o mesmo Call Reference.

Ao terminal chamador chega também uma mensagem Connect, ao qual ele responde com Connect Acknowledge, ambas também com o mesmo Call Reference.

O procedimento de desligamento é baseado no envio da mensagem RELEASE e na recepção da mensagem RELEASE COMPLETE, em ambos os lados.

12.4. Sinalização Ponto a Multiponto

A sinalização ponto-a-multiponto é especificada na recomendação Q.2931 do ITU-T e na UNI 3.1 e UNI 4.0 do ATM Forum, as quais definem os protocolos para estabelecer, manter e terminar chamadas/conexões ponto-a-multiponto na UNI.

Uma conexão ponto-a-multiponto (P-MP) permite a um terminal enviar tráfego para duas ou mais estações. A estação que gera o tráfego é definida como Raiz da conexão, sendo as estações que recebem este tráfego definidas como Folhas. Como o tráfego só pode fluir da raiz para as folhas, uma conexão P-MP é sempre unidireccional. Assim, uma folha não pode usar uma conexão ponto-multiponto para enviar tráfego para a raiz ou para outra folha.

As conexões P-MP permitem uma utilização mais eficiente dos recursos da rede, nomeadamente, por efectuar a cópia de células o mais próximo possível do terminal, como se pode observar na figura 12.12, utilizando assim menos recursos da rede.
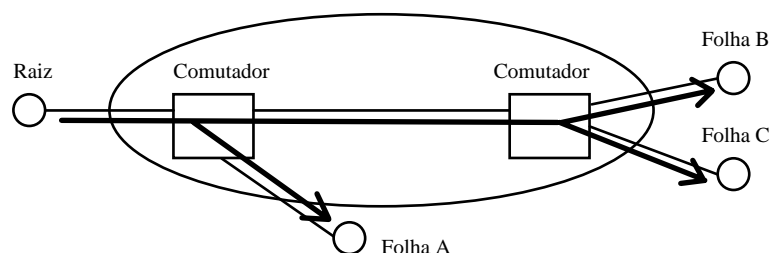
Fig. 12.12 - Exemplo de conexão ponto-a-multiponto

Exemplos de aplicações que podem utilizar com vantagem as conexões P-MP são a videoconferência, audioconferência, video a pedido, Emulação de LAN, etc.

Para o estabelecimento de conexões P-MP são adicionadas às mensagens já existentes as seguintes novas mensagens:

ADD PARTY - utilizada para adicionar uma nova folha a uma conexão P-MP já estabelecida.

ADD PARTY ACKNOWLEDGE - enviada da rede para o terminal chamador (raiz) ou do terminal chamado (folha) para a rede para confirmar que a mensagem **ADD PARTY** enviada foi aceite.

ADD PARTY REJECT - enviada da rede para o terminal chamador (raiz) ou do terminal chamado (folha) para a rede para indicar que a conexão não foi estabelecida.

DROP PARTY - enviada pelo terminal ou pela rede para pedir o desligamento de uma determinada folha.

DROP PARTY ACKNOWLEDGE - enviada pelo terminal ou pela rede para indicar que o desligamento de uma determinada folha foi efectuado.

Na figura 12.13 apresenta-se um exemplo de estabelecimento de uma chamada P-MP entre a Raiz e três folhas, A, B e C, a primeira localizada num comutador e as outras duas num segundo comutador.
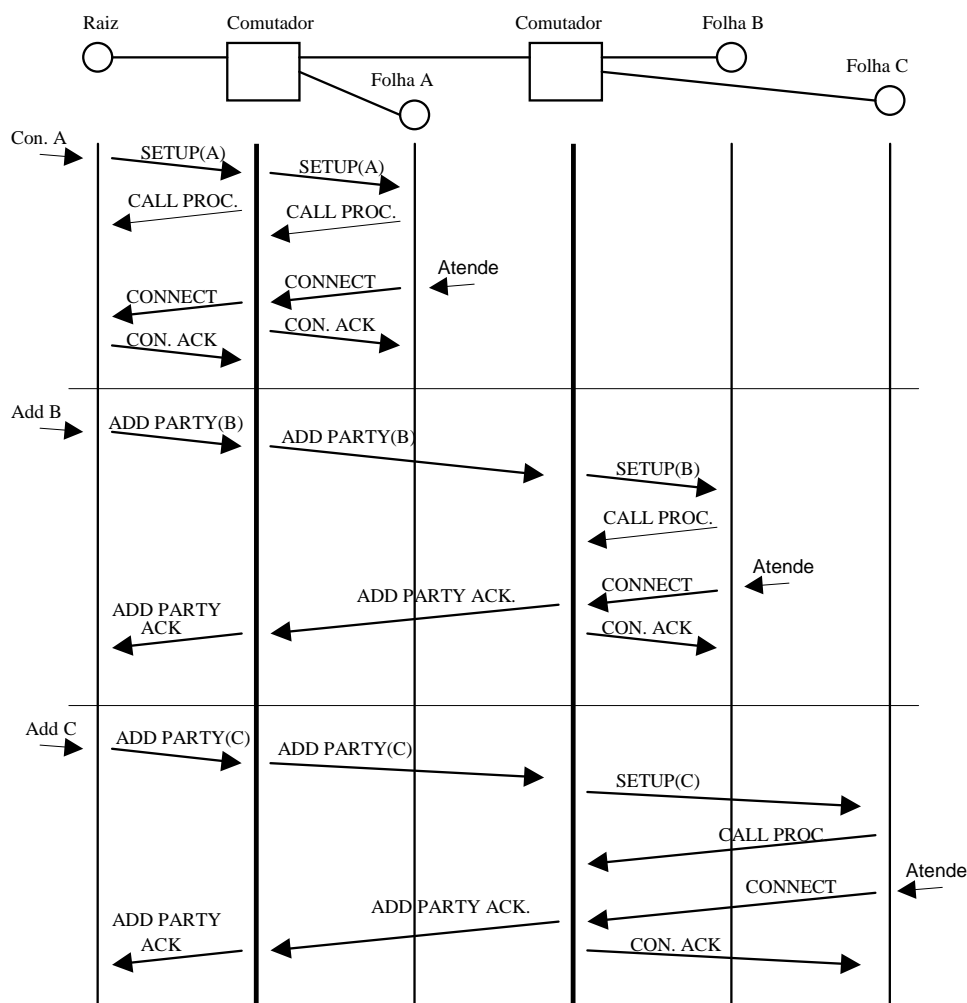
Fig. 12.13 - Diagrama de mensagens de estabelecimento de uma chamada ponto-a-multiponto

Uma conexão P-MP é iniciada através do estabelecimento de uma conexão unidireccional da raiz (terminal chamador) para uma folha (um terminal chamado), de modo análogo ao do estabelecimento de uma chamada ponto-a-ponto, iniciando-se com a mensagem SETUP (primeira parte da figura).

Após o estabelecimento da conexão com a primeira folha, a raiz pode pedir o estabelecimento de uma nova conexão (folha B) através do envio da mensagem ADD PARTY. Do lado da folha o procedimento é igual ao da conexão ponto-a-ponto, como se pode ver na figura (segunda parte).

Podem ser adicionados à conexão P-MP mais terminais, apresentando-se na figura (parte inferior) a adição de um terceiro terminal (folha C) à conexão P-MP, de modo inteiramente análogo.

Para simplificar partiu-se do pressuposto de que o protocolo de sinalização entre centrais era tembém baseado no DSS2, o que só é verdadeiro no caso de redes privadas.

Na figura 12.14 apresenta-se um exemplo de desligamento de uma chamada P-MP entre a Raiz e três folhas, A, B e C, com uma configuração idêntica à da figura anterior.

A folha C começa por pedir o desligamento, utilizando procedimentos de ligação ponto-a-ponto. A informação de desligamento da folha C chega à raiz através da mensagem DROP PARTY.

A Raiz pode tomar também a iniciativa de desligar outro terminal (folha A) através do envio da mensagem DROP PARTY, chegando essa informação à folha através da mensagem RELEASE, continuando o desligamento como no caso da conexão ponto-a-ponto.

O último terminal é desligado através da mensagem RELEASE, a qual termina a conexão P-MP.

No caso de a raiz querer desligar todas folhas simultaneamente, envia igualmente a mensagem RELEASE, a qual termina totalmente a conexão P-MP, incluindo todas as conexões estabelecidas.
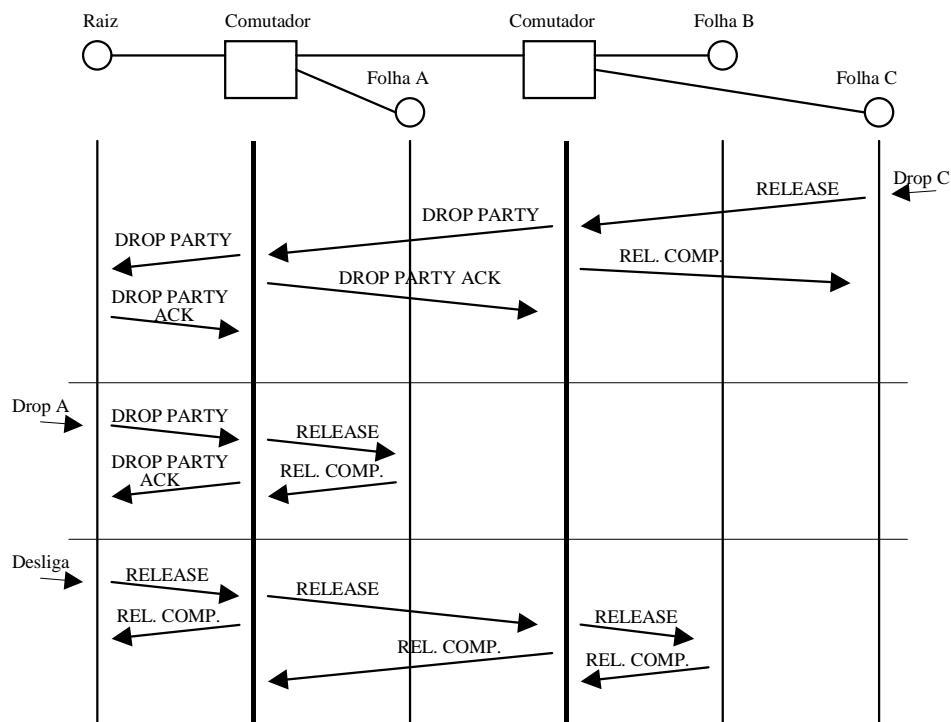
Fig. 12.14 - Diagrama de mensagens de desligamento de uma chamada ponto-a-multiponto

13. Redes Locais ATM

As “Redes Locais de Computadores” (LANs) surgiram na década de 70 em resultado do aparecimento e profusão dos sistemas baseados em microprocessadores. O uso generalizado destes sistemas levou a considerar arquitecturas computacionais distribuídas em que a infra-estrutura fundamental de comunicação é a LAN. Actualmente, com o incremento significativo da potência de processamento das plataformas computacionais e com o advento de novas e mais exigentes aplicações, as LANs tradicionais apresentam-se como factor limitativo à evolução dos serviços avançados na área local.

O Grupo de Trabalho 802 do IEEE definiu um conjunto de protocolos referentes a redes locais, nomeadamente o IEEE 802.3 (baseado na Ethernet), IEEE 802.4 (Token-bus), IEEE 802.5 (Token-ring) e IEEE 802.6 (DQDB). O ANSI definiu também um protocolo para redes locais de alto débito, o FDDI. O diagrama destes protocolos apresenta-se na figura 13.1.
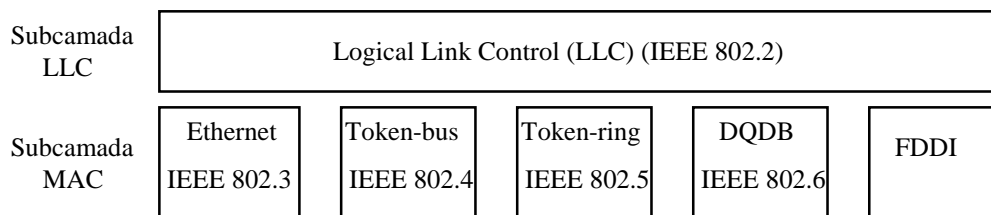
Figura 13.1 - Protocolos IEEE 802 para redes locais

13.1. Evolução das redes locais

Nas redes empresariais podem ser identificados um conjunto de factores que influenciam decisivamente a evolução da redes locais e que a seguir se enunciam:

- Necessidade de maior largura de banda devido ao maior volume de dados requerido pelas novas aplicações, incluindo som, imagens animadas e multimédia.
- Necessidade de incrementar o número de segmentos de LAN, para isolar o tráfego local.
- As aplicações cliente/servidor estão a aumentar progressivamente os requisitos de largura de banda para além das capacidades das LAN.
- Há a necessidade de isolar os servidores de alta capacidade em segmentos dedicados para evitar contenção com utilizadores usuais
- Há uma complexidade crescente de interfuncionamento entre os vários segmentos, com topologias diversas e complexidade crescente.
- As LANs estão a tornar-se o sistema nervoso das comunicações empresariais, o que requer uma maior fiabilidade e disponibilidade destas redes.

Assim, a migração para uma nova tecnologia de redes locais faz-se sentir devido ao aumento de tráfego provocado por novas aplicações e pelo maior número de utilizadores (PCs e Workstations) que está a levar as LANs ao seu limite. A *Ethernet* (10 Mbit/s) e o *Token-Ring* (16 Mbit/s) não são suficientes para múltiplos servidores ligados numa LAN com meio partilhado. A evolução das LANs para novas tecnologias deve ter em conta os seguintes requisitos:

- proteger tanto quanto possível os investimentos nas aplicações já existentes
- ter um baixo custo por megabit de largura de banda
- ter uma largura de banda elevada, com possibilidade de ter diferentes valores para diferentes utilizadores
- ter uma largura de banda escalável, com possibilidade de crescer para suportar mais utilizadores e novas aplicações
- suportar aplicações de dados, voz, vídeo e multimédia

Várias alternativas para novas tecnologias de LAN estão actualmente disponíveis, a seguir identificadas:

- Rede de suporte de alta velocidade (FDDI)
- Comutação de LAN (LAN *Switching)*
- LAN de alta velocidade (*Fast Ethernet* e *Gigabit Ethernet)*
- ATM

A rede FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) é uma rede de suporte (*backbone*) de alta velocidade baseada num anel de fibra óptica com o ritmo de 100 Mbit/s. A rede FDDI agrega e multiplexa os fluxos de dados de LANs de ritmos mais baixos (*Ethernet* e *Token Ring*) num meio de transmissão de maior ritmo, permitindo aumentar em uma ordem de grandeza o ritmo total disponível na rede. A rede FDDI-II é uma evolução da FDDI, tendo como principal vantagem a de integrar a comutação de circuitos juntamente com a comutação de pacotes oferecida pela FDDI, de modo a facilitar a integração de serviços de tempo real na rede. A rede FDDI / FDDI-II, embora permita aumentar substancialmente a largura de banda disponível nas LAN tradicionais, é uma solução limitada em capacidade (100 Mbit/s) e não facilmente escalável, para além de ser uma solução dispendiosa.

A comutação de LAN (LAN *Switching)* dedica uma porta de um Concentrador (HUB) a um segmento de LAN ou eventualmente a uma estação única. Esta solução é atraente devido à simplicidade de implementação e baixo custo, uma vez que permite manter o investimento nas placas de LAN já existentes nos PCs e Workstation, bem como a cablagem do edifício no caso de já se utilizar cablagem estruturada com cabos UTP3/5. É contudo uma solução limitada em termos de largura de banda disponível e não permite facilmente a integração de aplicações de tempo real (áudio, vídeo) e aplicações multimédia, uma vez que a LAN é baseada em tecnologia de comutação de pacotes *Ethernet*, com os consequentes problemas de tempo de atraso variável.

A *Fast Ethernet* é uma LAN de alta velocidade com ritmo de 100 Mbit/s e na sua versão 100BaseT é compatível com a cablagem existente, UTP5 (distância máxima de 100 metros). A Fast Ethernet utiliza o mesmo protocolo de acesso ao meio que a *Ethernet*, o protocolo CSMA/CD.

Para interligação entre nós de comutação com muito alto débito foi desenvolvido pelo IEEE a tecnologia Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z), com ritmo de 1000 Mbit/s, sobre fibra óptica ou sobre par entrançado UTP5 para curtas distâncias.

A tecnologia ATM combina a comutação e multiplexagem, de modo escalável e flexível em função do número de utilizadores e do tráfego. A rede baseada em ATM é a mais flexível permitindo um crescimento virtualmente ilimitado em número de utilizadores e em capacidade de tráfego. Permite integrar numa única rede todas as aplicações de dados, voz, imagens e multimédia.

O ATM apareceu inicialmente vocacionado para interligação de redes metropolitanas (MAN) e para “backbone” de geograficamente amplas (WAN). Contudo, a elevada capacidade de largura de banda, escalibilidade e flexibilidade para suporte de serviços com diferentes requisitos de qualidade de serviço, tornaram o ATM também adequado para utilização em redes locais.

O ATM nas LANs, permite cumprir os requisitos e exigências necessários às aplicações emergentes. Com efeito, nas redes *Ethernet* ou *Token Ring,* a largura de banda (10 Mbit/s) é partilhada por todos os utilizadores no mesmo segmento, enquanto que nas ATM LANs o utilizador pode reservar largura de banda só para si, e eventualmente fazer o seu pedido em termos de qualidade de serviço desejada, no caso das aplicações a utilizar assim o necessitarem. Em relação às outras tecnologias, o ATM, para além de oferecer largura de banda dinâmica, permite adicionalmente uma fácil integração dos domínios público e privado.

A evolução para ATM poderá ser faseada de modo a reduzir os investimentos necessários. Assim, numa primeira fase poder-se-á utilizar um comutador central ATM ao qual estarão ligados os segmentos *Ethernet* ou *Token-Ring* da empresa através de *Routers*/*Bridges*, como se mostra na figura 13.2. Somente os computadores de maior porte, normalmente os servidores (*servers*), estarão ligados directamente ao comutador ATM.
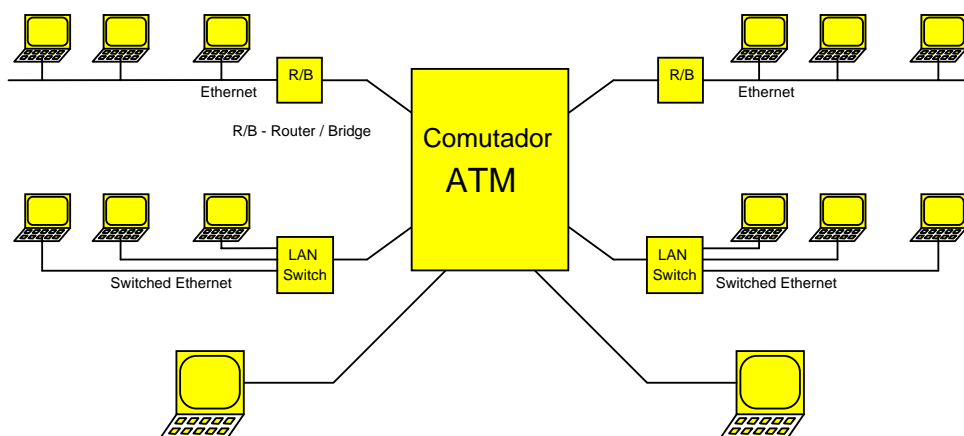
Figura 13.2 - Rede ATM, primeira fase de evolução.

Nesta figura estão representados dois tipos de ligações Ethernet, a tradicional em cabo coaxial em multiponto e as ligações ponto-a-ponto utilizando cablagem estruturada e HUBs. Este segundo tipo de ligação é dominante nas novas instalações e irá substituindo progressivamente as ligações em cabo coaxial.

Numa segunda fase evolui-se para a ligação directa de todos os terminais directamente a comutadores ATM, numa hierarquia típica a dois níveis, com comutadores de grupo por andar ou departamento, interligados através de comutadores de empresa de maior porte, como se mostra na figura 13.3.
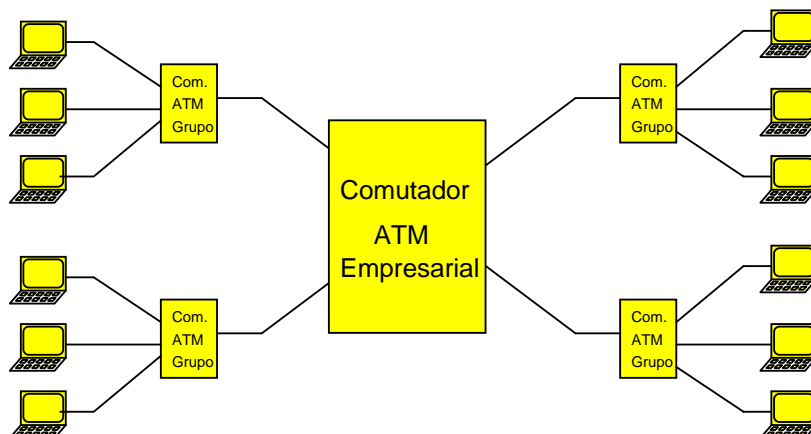
Figura 13.3 - Rede ATM, segunda fase de evolução

Embora o ATM seja caracterizado por um serviço do tipo CO (*connection-oriented*), permite também o suporte de serviços CL (*connectionless*). Um dos desafios do ATM consiste no suporte transparente dos serviços *connectionless* que caracterizam as LANs. Este objectivo tem originado uma grande actividade por parte dos organismos internacionais de investigação e normalização para especificar serviços de dados via ATM.

São exemplo típicos desta actividade o SMDS (*Switched Multimegabit Data Service*) e o CBDS (*Connectionless Broadband Data Service*), como serviços oferecidos pelos operadores públicos. O *IP over ATM* (Classical IP), a Emulação de LAN (*LAN Emulation)* e o MPOA (*Multiprotocol over ATM*) evidenciam os esforços empreendidos pelos diferentes organismos de normalização e pelos fabricantes de equipamentos para redes locais para a introdução do ATM neste domínio.

13.2. Dados sem conexão baseados em Connectionless Server

O ITU-T propõe na recomendação I.364 (Support of Broadband Connectionless Data Service on B-ISDN) a utilização de Connectionless Server (CLS) para transporte de dados sem conexão, nomeadamente para interligação de LANs, tal como se exemplifica na figura 13.4, em que se representam três LAN (ou MAN) interligadas através de ATM.
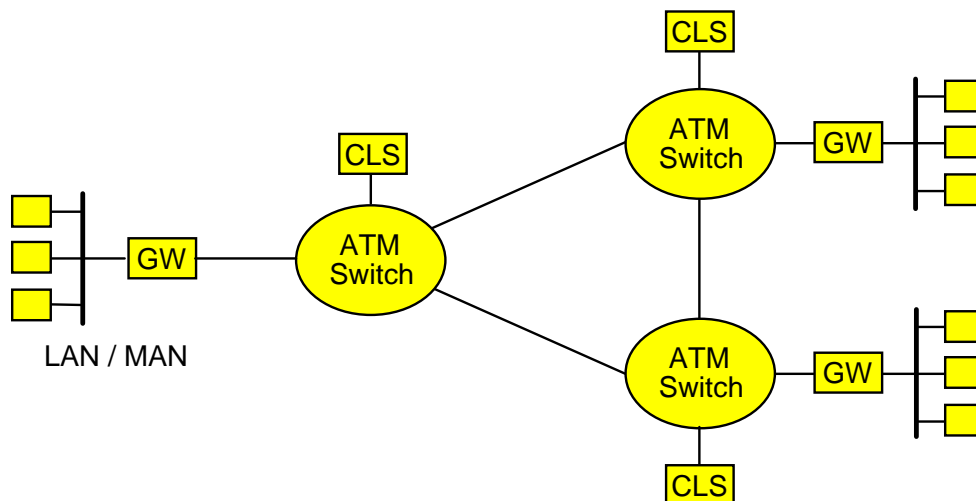
Figura 13.4 - Interligação de LANs utilizando CLS

As mensagens provenientes da Gateway das LAN são enviadas para o CLS mais próximo usando o AAL4, contendo o endereço ATM de destino na primeira célula (BOM) com um MID (Message Identifier) específico. As células subsequentes contém o mesmo MID.

Os comutadores ATM suportam o transporte das unidades de dados sem conexão (datagramas) entre CLSs, os quais estão aptos a processar o protocolo sem conexão e a realizar a adaptação dos datagramas em células ATM para serem transferidas para um ambiente orientado à conexão.

Os CLS podem estar localizados fora da RDIS-BL, em redes privadas sem conexão ou dentro da RDIS-BL, como se mostra na figura 13.5.
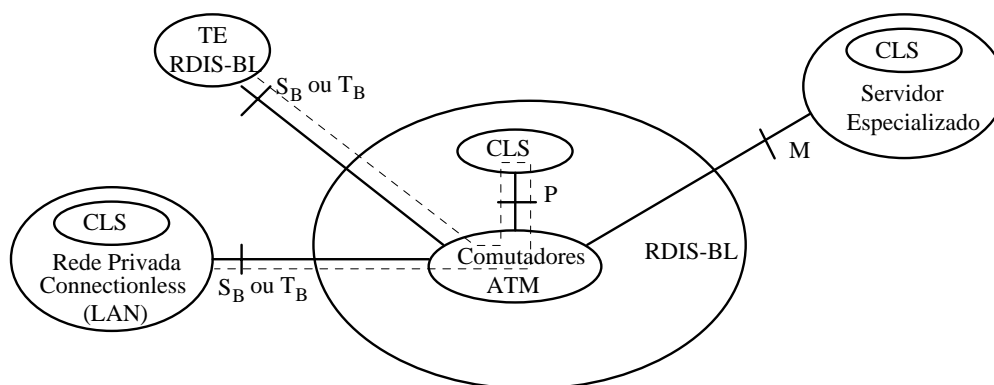
Fig. 13.5 - Configuração de referência para serviços sem conexão em RDIS-BL

Os CLS terminam o protocolo *conectionless* e inclui funções de adaptação deste protocolo ao protocolo orientado à conexão intrínseco ao ATM. As funções associadas ao protocolo orientado à conexão são desempenhadas pelo protocolo AAL3/4, enquanto as funções associadas ao protocolo *connectionless* são efectuadas pelo protocolo CLNAP (Connectionless Network Access Protocol).

A estrutura de protocolos implementada pelos vários equipamentos envolvidos no serviço *connectionless* são mostrados na figura 13.6.
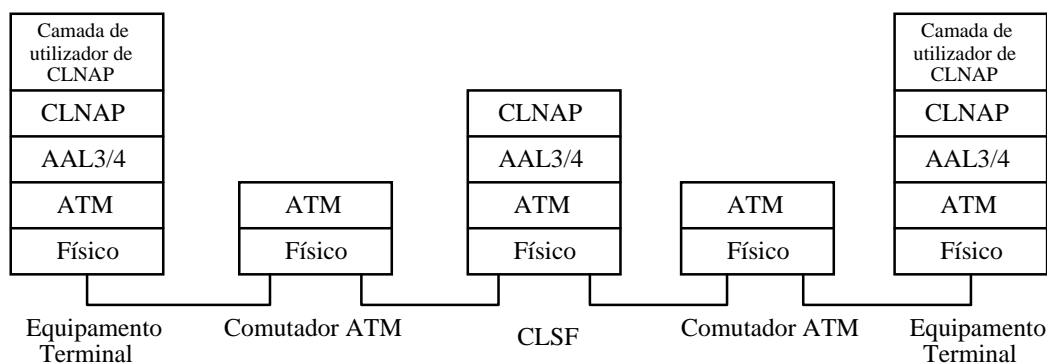
Fig. 13.6 - Estrutura de protocolos para serviço *connectionless* em RDIS-BL

A camada CLNAP proporciona a transferência transparente de unidades de dados de tamanho variável da fonte para um ou mais destinatários, garantindo que as unidades de dados perdidas ou corompidas não sejam retransmitidas. A transferência de dados é efectuada usando o modo *connectionless*, a qual inclui os endereços da origem e do destinatário em cada unidade de dados.

A estrutura da PDU CLNAP é indicada na figura 13.7.
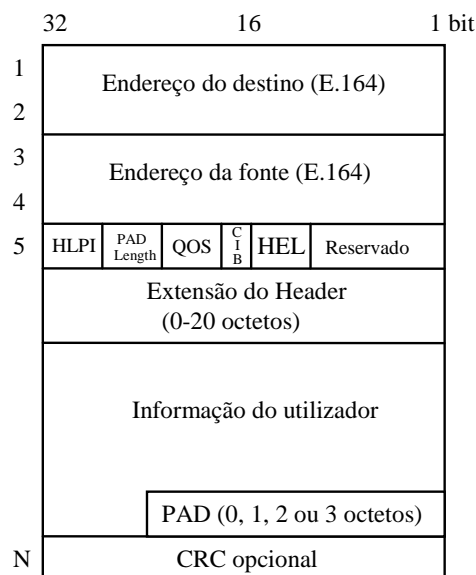
Fig. 13.7 - Estrutura de PDU CLNAP

Os campos de endereço do destino e da fonte têm um comprimento de 8 octetos, com uma estrutura de acordo com a recomendação E.164 do ITU-T, análoga à da RDIS.

O campo HLPI (Higher Layer Protocol Identifier) tem 6 bits, sendo usado para identificar a entidade utilizadora da CLNAP, sendo transferido transparentemente pela rede.

O campo PAD Length, com 2 bits, indica o comprimento do campo PAD (0-3 octetos) para alinhamento da PDU CLNAP a palavras de 32 bits.

O campo QOS (Quality of Service), de 4 bits, é utilizado para indicar a qualidade de serviço requerida para a PDU CLNAP.

O bit CIB (CRC indication bit) indica a presença ou ausência do campo CRC.

O campo HEL (Header Extension Length) de 3 bits, indica o comprimento do campo Extensão do Header em palavras de 32 bits.

O campo Extensão do Header tem o comprimento de 0 a 20 octetos.

O campo de Informação do utilizador tem o comprimento máximo de 9188 octetos.

De entre as vantagens da utilização desta técnica salienta-se o interfuncionamento com redes metropolitanas (MAN) e o facto de ser o suporte do serviço CBDS/SMDS, o primeiro serviço comercial de banda larga.

Como inconvenientes salienta-se o facto de a utilização dos comutadores de pacotes CLS puderem criar estrangulamentos de tráfego e pontos singulares de falha na rede e de se basear no AAL3/4, mais complexo e menos eficiente que o AAL5.

13.3. Encapsulamento de múltiplos protocolos sobre ATM

O IETF (Internet Engineering Task Force) definiu na RFC 1483 (Multiple Protocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5) dois métodos de encapsulamento de protocolos sem conexão sobre ATM e AAL5: multiplexagem baseada em VCs e encapsulamento da LLC.

No primeiro método, multiplexagem baseada em VCs, o protocolo de interligação da rede é identificado implicitamente pelo VC que utiliza os dois terminais ATM, isto é, cada protocolo deve ser transportado usando um VC separado. Não há necessidade de incluir informação de multiplexagem no Payload de AAL5, minimizando a largura de banda e o "overhead".

A vantagem da multiplexagem baseada em VCs é assim a sua maior eficiência. As desvantagens que apresenta são a utilização de um maior número de VCs e a gestão mais complexa dos mesmos.
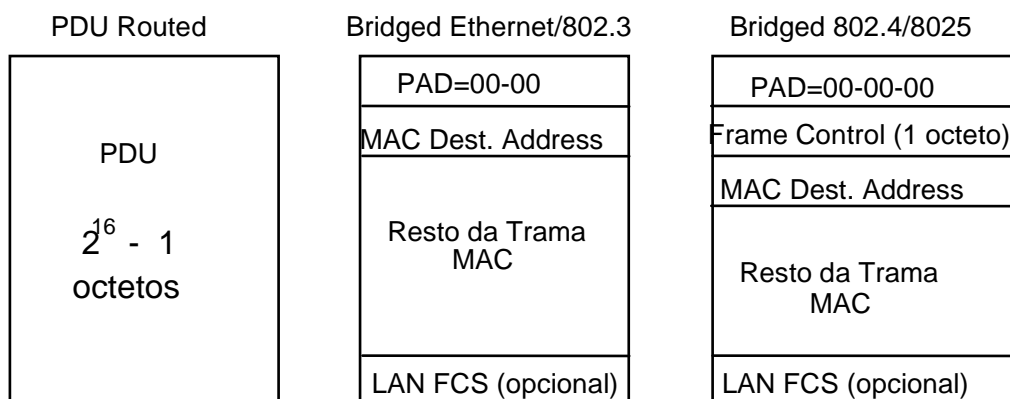
Figura 13.8 - Formatos de Payload de AAL5 com multiplexagem baseada em VCs

O segundo método, encapsulamento de LLC, é necessário quando vários protocolos são transportados sobre o mesmo VC. A informação do protocolo usado é codificada no cabeçalho da LLC (tipo 1), tal como indicado na figura 13.9.

Figura 13.9 - Formato de cabeçalho LLC tipo 1 (3 octetos)

Na figura 13.10 apresentam-se os formatos de payload AAL5 para protocolos "Routed" com encapsulamento de LLC.
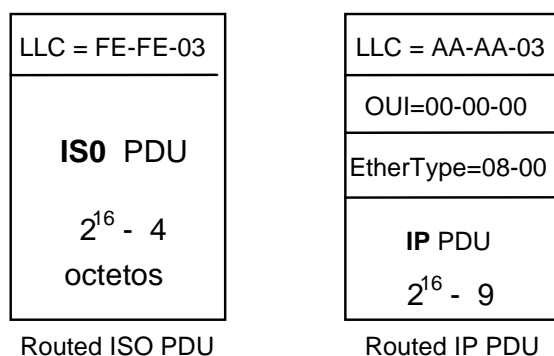
Figura 13.10 - Formatos de PDU AAL5 para protocolos "Routed" com encapsulamento de LLC

Assim, um datagrama IP será encapsulado em AA5 do modo indicado na figura 13.11.
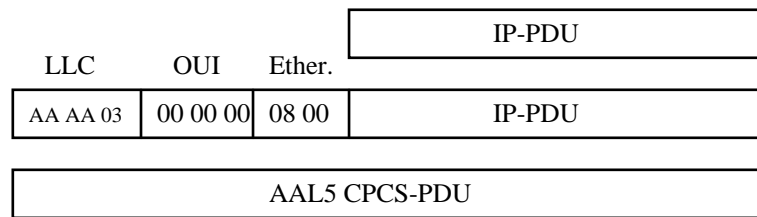
Figura 13.11 - Encapsulamento LLC de datagrama IP

Na figura 13.12 apresentam-se os formatos de payload AAL5 para protocolos "Bridged" com encapsulamento de LLC.

Figura 13.12 - Formatos de PDU AAL5 para protocolos "Bridged” com encapsulamento de LLC

13.4. Classical IP

O IP sobre ATM é especificado na IETF RFC 1577, sendo o objectivo desta especificação permitir implementações compatíveis para transmissão de datagramas IP e do protocolo de resolução de endereços ATM (ATMARP) sobre AAL5. Esta especificação é usualmente designada como o modelo "clássico" (CIP - Classical IP) , significando que o Adaptador ATM do terminal é tratado como uma interface de rede para a pilha de protocolos IP segundo o paradigma das LANs.

As principais características do modelo "clássico" de IP sobre ATM são as seguintes:

- A mesma unidade máxima de transmissão (MTU) é usada para todas as VC (Virtual Connections), numa subrede IP.
- Encapsulamento LLC dos pacotes IP, por omissão.
- Os algoritmos de encaminhamento de IP terminal a terminal permanecem inalterados.
- Os endereços IP são convertidos em endereços ATM através de um serviço de resolução de endereços na subrede entre IP e ATM (ATMARP).
- Cada VC liga directamente dois membros IP na mesma subrede.

A resolução de endereços numa subrede IP baseada em ATM, tal como definido no RFC 1577, deverá usar o protocolo ATMARP, o qual é baseado no ARP, (RFC 826, An Ethernet Address Resolution Protocol) e no InATMARP (Inverse ATMARP), baseado no InARP (RFC 1293, "Inverse Address Resolution Protocol).

Para o serviço de Conexões Virtuais Permanentes (PVC) as estações IP deverão ter informação dos PVCs disponíveis (p. ex. num ficheiro de configuração). Todas as estações IP deverão usar o InATMARP nos VCs disponíveis para obter o IP das estações de destino. A informação obtida deve ser periodicamente revalidada (valores típicos inferiores a 15 minutos).

Para o serviço de Conexões Virtuais Comutadas (SVC) as estações com SVCs requerem a utilização de ATMARP no ambiente ATM, o qual é *non-broadcast* e *non-multicast*. Para tal deverá existir um (e só um) servidor ATMARP na subrede IP, com capacidade para resolver os pedidos de ATMARP de todas as estações IP, tal como indicado na figura 13.13.
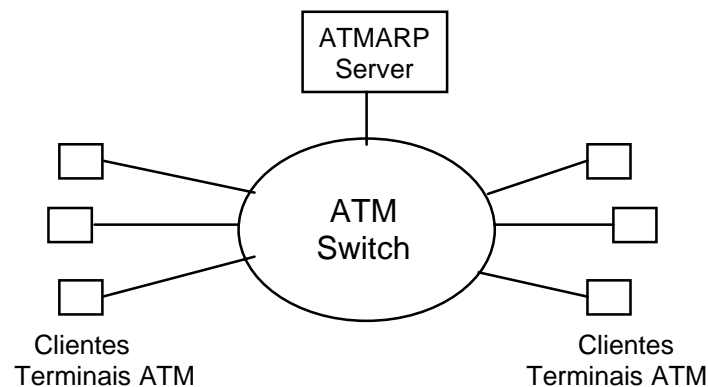
Figura 13.13 - Configuração de Classical IP sobre ATM

Cada cliente liga-se ao Servidor ATMARP usando um VC ponto a ponto. O servidor, após o estabelecimento de um conexão/chamada transmite um período In ATMARP para determinar o endereço IP do cliente, a partir do qual constrói a sua tabela de ATMARP. Esta tabela (cache) é usada para gerar respostas aos pedidos de ATMARP que recebe.

Na figura 13.14 exemplifica-se um diagrama de mensagens ATM ARP.

IP Address	ATM Address	VC
IP_j	ATM_j	VC_j

ATM Address	IP Address
ATM_i	IP_i
ATM_j	IP_j
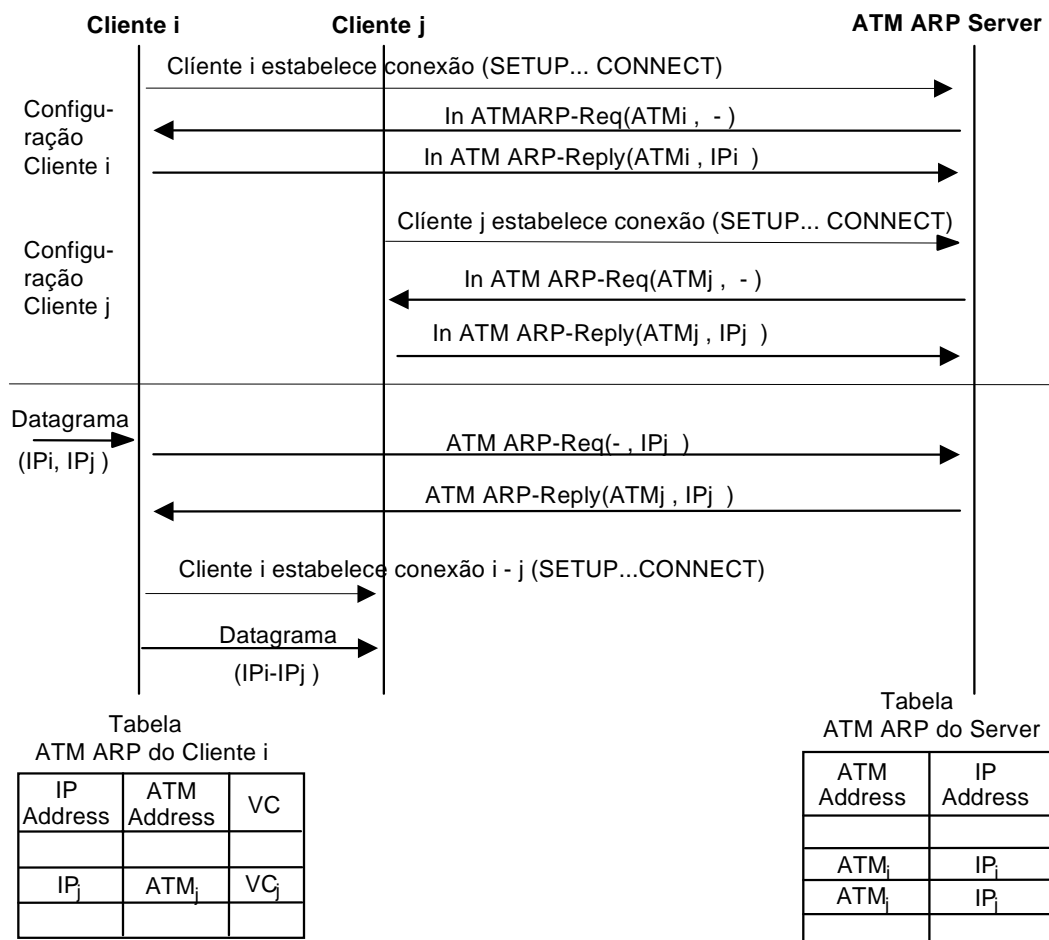
Figura 13.14 - Diagrama de mensagens ATM-ARP (RFC 1577)

O diagrama de protocolos de uma estação com Classical IP é apresentado na figura 13.15.
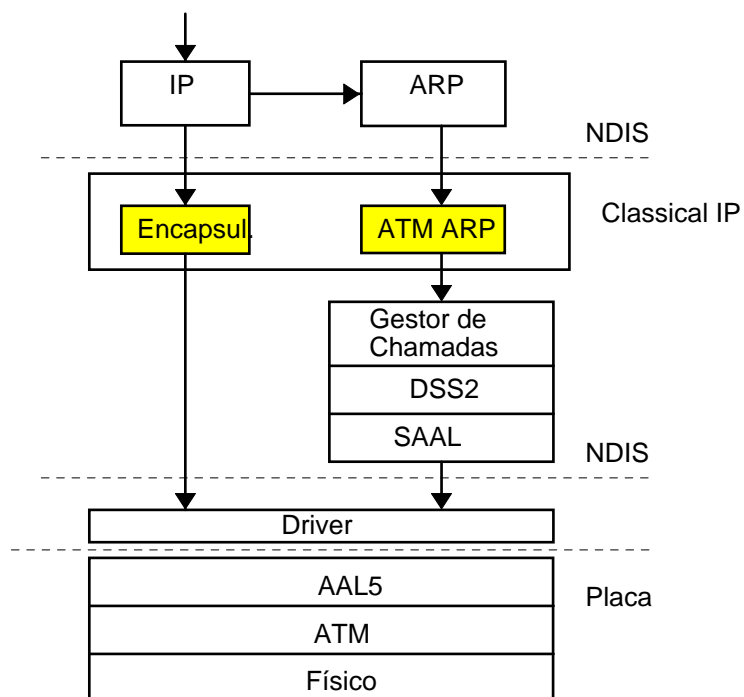
Fig. 13.15 - Diagrama de protocolos de uma estação com Classical IP

Como se vê na figura anterior, uma estação com Classical IP apresenta vários módulos de software específicos, nomeadamente o módulo de Encapsulamento, o ATM ARP e o de Gestão de Conexões.

Em resumo, as principais vantagens do Classical IP são os seguintes:

- É uma solução simples e estável
- Permite uma resolução eficiente de endereços IP, através do mapeamento directo de endereços IP para ATM;
- Permite pacotes grandes (9180 bytes) e baixo "overhead";

Os principais inconvenientes apontados ao Classical IP são os seguintes:

- a existência de um único ARP Server torna este elemento crítico em caso de falha deste e traz problemas de escalabilidade;
- O agrupamento das estações em subredes (LIS - Logical IP subnets) não é adequada ao modelo ATM, o tráfego entre LIS tem de ser feito através de Routers IP;
- A gestão de conexões não é normalizada;
- Não há suporte de QoS, toda a informação de QoS é perdida no IPv4;
- Só está definido para o protocolo IP
- Não suporta multicast/broadcast. Esta limitação é resolvida com o MARS (Multicast Address Resolution Server)

13.5. Emulação de LAN

O serviço de *LAN Emulation* especificado pelo ATM Forum é actualmente o serviço mais utilizado no contexto das redes privadas, pois permite a ligação de um utilizador à rede ATM sem que seja necessário alterar as aplicações existentes. Este serviço possibilita a comunicação entre dois utilizadores ligados à rede ATM (privada), entre um utilizador ligado à rede ATM e outro de uma LAN tradicional, e entre dois utilizadores pertencentes a LANs tradicionais, tal como se mostra na figura 13.16.
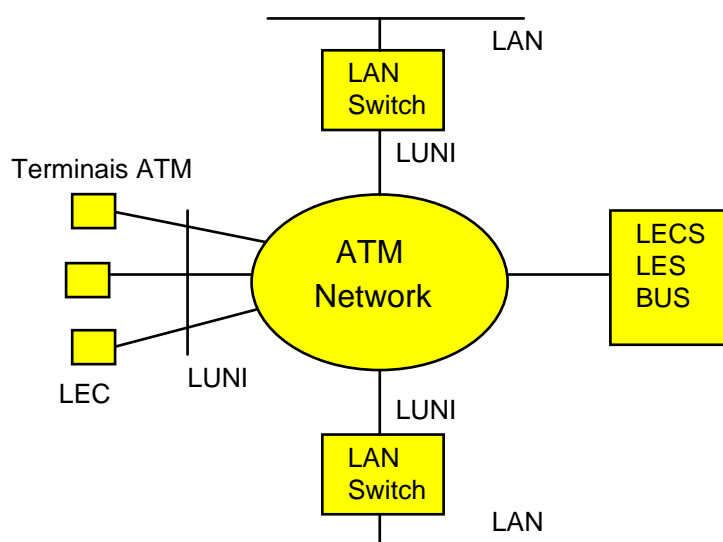
Figura 13.16 - Configuração de LAN Emulation

O serviço é fornecido ao nível da sub-camada MAC. Através de uma camada de *software*, um sistema terminal passa a poder ligar-se a uma rede ATM, enquanto as aplicações se comportam como se estivessem a operar sobre uma LAN tradicional. Esta facilidade permitirá a interligação ATM - LAN usando os métodos actuais (*bridges*), o que tornará possível a interoperabilidade de aplicações residentes em estações ligadas à rede ATM com as existentes nos sistemas terminais das LANs tradicionais, tal como se mostra na figura 13.17.
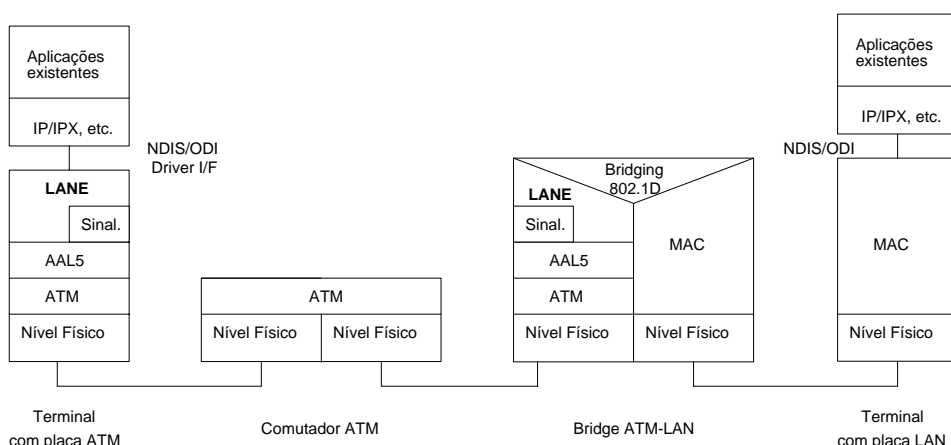
Fig. 13.17 - Pilha de Protocolos de Emulação de LAN no plano do utilizador

Uma camada MAC deve ser desenvolvida para suportar ATM LANs, que ofereça o mesmo serviço CL aos níveis superiores que outra qualquer camada MAC. Deve esconder a natureza CO da rede que suporta a LAN. Pretende-se também que uma estação na ATM LAN comunique com uma estação situada em uma outra LAN (IEEE 802 LAN). As *bridges* devem oferecer *transparent local*

bridging, uma vez que a rede ATM não é apenas um meio de comunicação entre LANs, mas sim uma LAN virtual.

O serviço de *LAN Emulation* pressupõe a existência, na estação terminal, de uma pilha de protocolos tal como a indicada na figura 13.18.
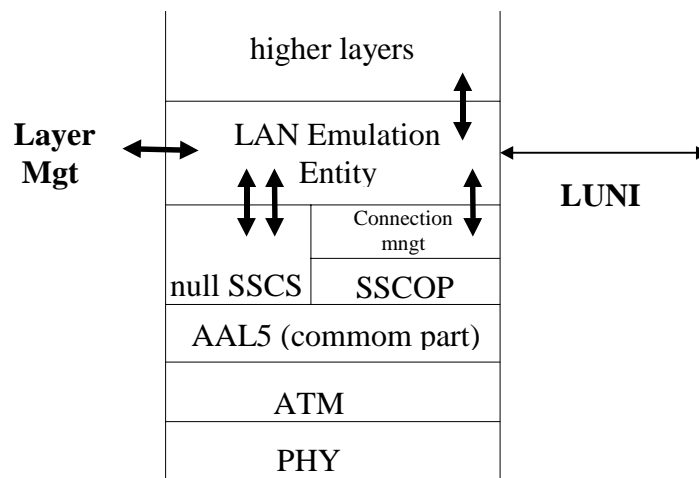
Fig. 13.18 - Pilha de protocolos numa estação LANE.

Na figura 13.19 exemplifica-se a utilização da LANE com o protocolo IP no nível superior. Como se pode verificar na figura, é utilizada uma interface MAC standard, podendo reutilizar-se a pilha de protocolos acima do nível MAC sem necessidade de qualquer alteração.
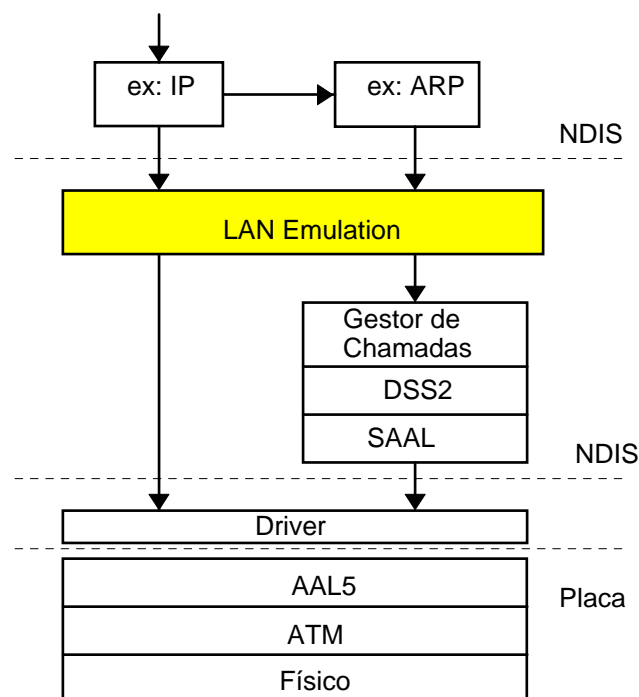
Fig. 13.19 - Pilha de protocolos numa estação LEC, com cliente IP

Nos segmentos das LANs da família IEEE 802, qualquer que seja o tipo de comunicação (*unicast*, *multicast* ou *broadcast*), faz-se sempre a difusão para o meio partilhado, sendo da responsabilidade de cada estação a filtragem dos pacotes que lhe são destinados. Um segmento físico de uma LAN pode ser emulado ligando um grupo de estações da rede ATM a uma ligação virtual do tipo *multicast*. Assim, esta ligação torna-se o canal de difusão (*broadcast*) do segmento da ATM LAN. Uma estação pode

comunicar com todas as outras transmitindo por esse canal de *multicast*. O registo de um membro numa LAN é feito fisicamente quando se faz a ligação do mesmo ao meio. O registo numa ATM LAN corresponde a definir a ligação lógica à ligação virtual de *multicast* - daí o nome "*virtual LAN*" para as ATM LANs. Embora se pudesse emular a LAN transmitindo todo o tráfego através da ligação virtual de *multicast*, isto não faz sentido, porque a maior parte do tráfego é *unicast*, e se no caso das LANs não existia a possibilidade de enviar apenas para um utilizador, na ATM LAN isso é possível, estabelecendo uma conexão directa (VCC - Virtual Channel Connection) entre as duas estações em questão. Isto reduz significativamente o tráfego na rede, resultando numa maior segurança uma vez que se tem a certeza que apenas o destino tem acesso à informação. Adicionalmente, obtém-se um maior controle da qualidade de serviço. O serviço será um serviço do tipo *best-effort* que se assemelha muito ao que é oferecido pelas LANs. Esta distinção no modo de tratar o tráfego *unicast* e *multicast* implica a existência de vários tipos de ligações, que serão referidas em seguida.

Uma rede *LAN Emulation* inclui Clientes (estações ou *bridges* ATM) existindo em cada um deles uma entidade *Client*, e os componentes do *LE Service* (um *LE Server*, *Broadcast and Unknown Server* e LE *Configuration Server*). Estas entidades podem estar associadas a uma ou mais entidade física. A figura 13.20 mostra as ligações entre as várias entidades, numa configuração com dois LECs.
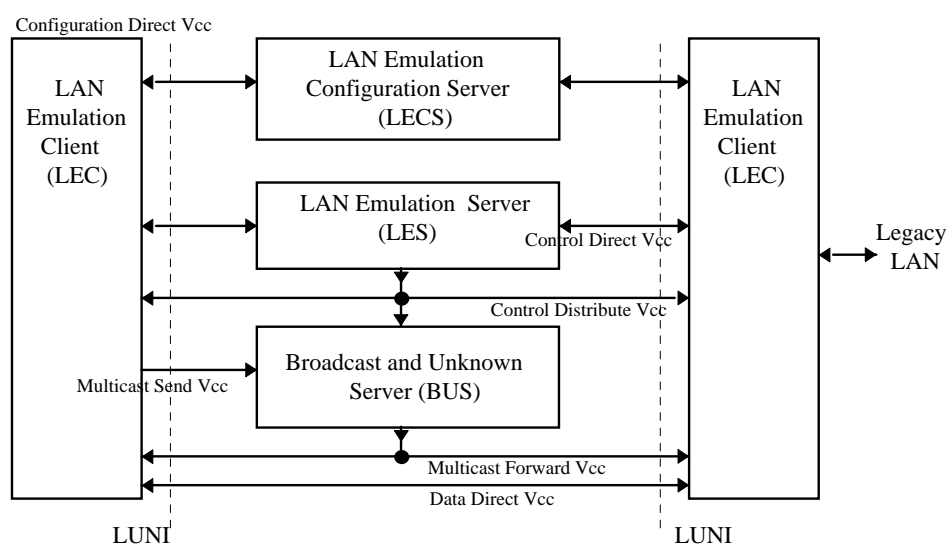
Fig. 13.20 - Configuração e conexões Lógicas da LANE

O *LE Client* (LEC) é a entidade que, nos terminais, realiza a transmissão da informação, a resolução dos endereços e outras funções de controle. Fornece um *interface* com os níveis superiores que simula a LAN que se pretende emular, e implementa a interface LE UNI (LUNI) para comunicação com as outras entidades da LAN Emulada. Cada LEC é identificado por um endereço ATM único, e está associado a um ou mais endereços MAC que podem ser atingidos através desse endereço ATM. No caso de um cliente implementado num equipamento com uma placa ATM o LEC está associado apenas com um endereço MAC. No caso de uma *bridge*, o LEC está associado a todos os endereços MAC que podem ser atingidos através da mesma. Esse grupo de endereços pode variar ao longo do tempo, por exemplo à medida que os nós de uma *legacy* LAN são ligados ou desligados, ou devido a mudanças topológicas na LAN.

O *LE Server* (LES) fornece facilidades para o registo e resolução de endereços MAC em endereços ATM. Os LECs registam os destinos que representam no LES. Eles interrogarão também o LES quando pretenderem resolver um endereço. O servidor poderá responder directamente ao cliente (no caso de conseguir resolver o endereço) ou enviar o pedido para os outros clientes, capazes de os resolver. Todos os Clientes de uma mesma LAN Emulada têm que estar registados no mesmo LES.

O *Broadcast and Unknown Server* (BUS) é a entidade responsável pelo *broadcast* na rede. Ocorre quando é explicitamente requerido por um cliente, ou quando existe uma trama *unicast* para transmitir antes de se ter feito a resolução do endereço. O tráfego *multicast* é tratado como o tráfego *broadcast*, sendo da responsabilidade de cada cliente a filtragem da informação que lhe é destinada.

Esta função de *multicast* é necessária para que o serviço de LE ofereça a funcionalidade de entrega de informação característica das redes de meio partilhado. Um LEC envia os dados para o BUS (identificado por um endereço ATM), que os serializa e retransmite para todos os LECs registados. A serialização das tramas é necessária para evitar que tramas AAL5 de vários LECs sejam multiplexadas.

O *LAN Emulation Configuration Server* (LECS) é a entidade que participa no serviço, na fase de pré-registo com o LES. Permite a um cliente ter acesso a toda a informação de que necessita para se poder tornar Cliente da LANE. Por exemplo, o endereço ATM do LES, o tipo de LAN que é emulada, etc. O endereço ATM do LECS deve ser conhecido por todos os potenciais clientes da LANE.

A figura 13.21 mostra o formato das tramas LE adoptado pelo ATM Forum para transferir tramas MAC, exemplificando-se para tramas Ethernet.
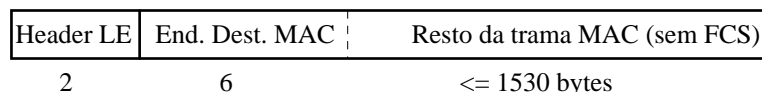
Fig. 13.21 - Formato da trama LE de dados de Ethernet

O cabeçalho de 2 bytes contém o identificador do cliente de emulação de LAN (LECID - LAN Emulation Client Identifier). Quando um LEC se regista no LES, este atribui-lhe um LECID que é único entre todos os LEC presentemente ligados ao LES, sendo este valor incluido em todas as tramas de dados enviadas pelo LEC.

Descreve-se a seguir o funcionamento da LANE através das várias fases de operação dos LEC.

1) Inicialização e configuração

O LEC deve em primeiro lugar obter o seu endereço ATM, após o que estabelece um VCC *configuration-direct* com o LECS, estabelecendo uma conexão para um endereço ATM predefinido ou usando a conexão permanente VPI=0 / VCI=17. Uma vez conectado o LECS fornece ao LEC a informação necessária para este se conectar à ELAN a que ele pertence, o que inclui o endereço ATM do LES, o tipo de LAN a emular, o tamanho máximo do pacote na ELAN e o nome da ELAN.

2) Aderência e Registo

Após o LEC obter o endereço do LES, estabelece um VCC *control-direct* para o LES, atribuindo este um identificador LECID único ao LEC. O LEC então regista os seus próprios endereços MAC e ATM no LES. O LEC pode adicionalmente registar outros endereços MAC de que ele é procurador (*proxy*), tal como endereços aprendidos no caso das Bridges.

O LES então estabelece um VCC *control-distribute* com o LEC, a qual conjuntamente com o VCC *control-direct* pode ser usado pelo LEC para efectuar o procedimento de LAN Emulation ARP (LE-ARP) para pedir um endereço ATM que corresponda a um determinado endereço MAC.

Em seguida o LEC usa o mecanismo LE-ARP para determinar o endereço ATM do BUS, através do envio dum pedido LE-ARP com o endereço MAC de broadcast do BUS para o LES, o qual responde com endereço ATM do BUS. O LEC estabelece então um VCC *multicast send* (unidireccional) com o BUS e este por sua vez estabelece o VCC *multicast forward* (unidireccional) para o LEC, adicionando uma folha ao VCC ponto-a-multiponto que já tinha com os outros LECs.

Neste momento o LEC está pronto para transferência de dados.

3) Transferência de Dados

Na transferência de dados o LEC ou recebe um pacote de nível 3 para transmitir para a rede ATM (caso de uma placa de rede), ou recebe uma trama MAC para reenviar para através de uma porta LAN (caso de um LAN switch ou Bridge).

No primeiro caso como o LEC emissor não conhece o endereço ATM do LEC destinatário tem de enviar um um LE-ARP para o LES para obter esse endereço ATM. Enquanto espera pela resposta, o LEC envia o pacote de dados para o BUS, o qual o difunde para todos os LEC. Isto é necessário porque no caso de o LEC destinatário ser uma LAN Switch ou Bridge, esta pode não conhecer onde está localizada a estação que tem o endereço MAC pretendido. Se for recebida resposta a um LE-ARP, o LEC estabelece um VCC *data-direct* para o nó destinatário e usa esta conexão para transferência de

dados, tendo previamente enviado para o BUS uma mensagem de controlo de "limpeza" do canal para garantir que não há duplicação de pacotes via BUS e directos.

Se já existir uma conexão *data-direct* para o nó destinatário o LEC reutiliza esta conexão para os sucessivos pacotes para o mesmo destinatário MAC ou outros que partilhem a mesma conexão, eliminando o tempo de atraso de estabelecimento da conexão.

Na figura 13.22 exemplifica-se um diagrama simplificado de mensagens da Emulação de LAN.
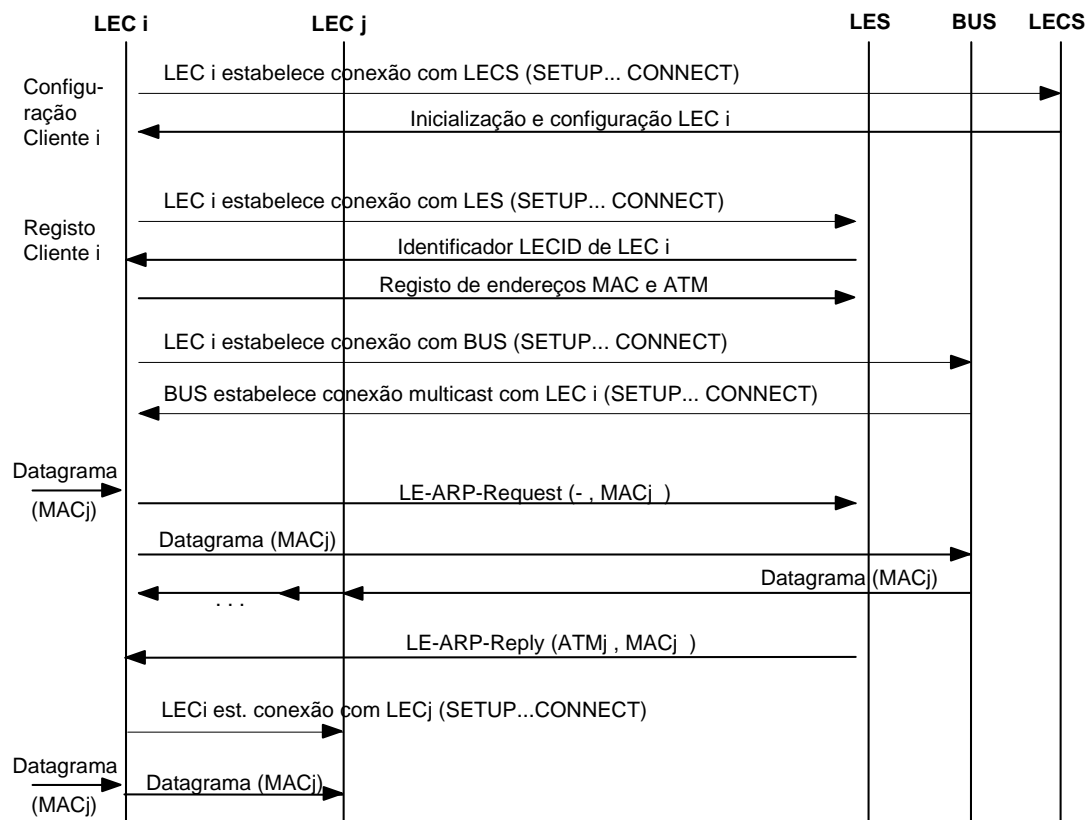
Figura 13.22 - Diagrama simplificado de mensagens da Emulação de LAN

Em síntese, podemos apresentar como principais vantagens da LANE as seguintes:

- É uma solução geral para a camada MAC, suporta qualquer protocolo de nível 3 (IP, IPX, AppleTalk, etc.)
- A interligação LAN-ATM é feita de modo simples através de equipamento com funcionalidade de Bridge
- Suporta Broadcast
- Suporta várias ELAN sobre uma rede ATM

De entre as desvantagens da LANE podemos apontar:

- Requer uma resolução de endereços em dois níveis:
  - Endereço IP -> Endereço MAC
  - Endereço MAC -> Endereço ATM
- Pacotes pequenos (1508 bytes) na emulação de Ethernet
- Tem maior "overhead" que o classical IP
- Implementação complexa

13.6. Multiprotocol Over ATM (MPOA)

Os protocolos de nível 3 de redes locais, tais como IP, IPX ou AppleTalk, utilizam Routers para permitir a comunicação entre subredes, as quais são em geral implementadas com LANs, nomeadamente Ethernet ou Token Ring. O Classical IP e as LANE têm igualmente o problema de requererem a utilização de Routers para transporte de dados entre subredes, como se mostra na figura 13.23.
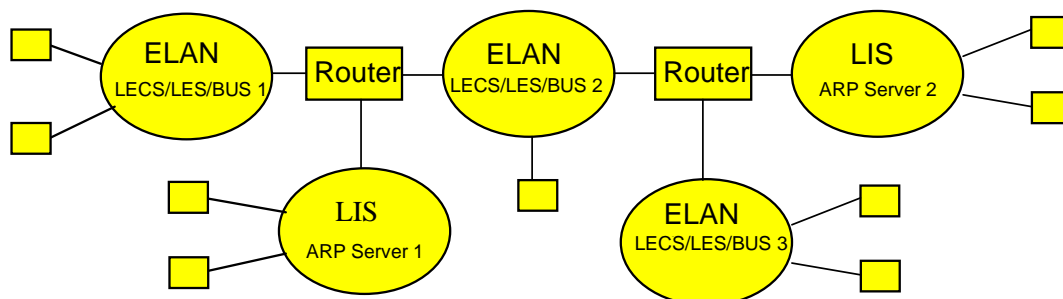
Fig. 13.23 – Ligação de ELAN e LIS através de Routers

O ATM Forum definiu a especificação *Multiprotocol over ATM* (MPOA), com o objectivo de facilitar o encaminhamento de vários protocolos de nível 3 sobre ATM, permitindo a implementação de LANs de dimensão empresarial sobre ATM, de modo escalável. O MPOA combina as soluções oferecidas pela LAN Emulation e pelo protocolo *Next Hop Routing Protocol* (NHRP), o qual permite a operação de protocolos de nível 3 de LAN sobre ATM. O NHRP agrupa a rede ATM em subredes ou grupos de endereço locais. As subredes são interligadas por Routers, mas o NHRP permite que os Routers intermédios sejam eliminados no caminho dos dados.

O objectivo do MPOA é portanto o de efectuar a transferência eficiente de dados entre subredes num ambiente LANE, integrando a LANE e o NHRP de modo a preservar os benefícios da LANE e permitir adicionalmente a comunicação entre redes sobre conexões virtuais ATM sem a utilização de Routers no caminho dos dados. MPOA tem capacidade para utilizar informação de Bridging ou de Routing de modo a localizar a saída óptima para a rede ATM.

MPOA permite a separação física do cálculo da rota de nível 3 e do encaminhamento dos pacotes, uma técnica denominada encaminhamento virtual. Esta separação tem as seguintes vantagens:

- Permite uma comunicação eficiente entre subredes
- Simplifica a gestão devido à diminuição do número de dispositivos que devem ser configurados para executar o cálculo da rota ao nível 3
- Aumenta a escalibilidade devido à diminuição do número de dispositivos que participam no cálculo da rota ao nível 3

Os serviços utilizados pelo MPOA são a Sinalização ATM [UNI 3.0, UNI 3.1, or UNI 4.0], a LANE 2.0 e o Next Hop Resolution Protocol [NHRP].

O MPOA é desenhado com uma arquitectura cliente/servidor, possuindo dois tipos de componentes lógicos, Clientes MPOA (MPCs) e Servidores MPOA (MPSs), interligados via LANE.
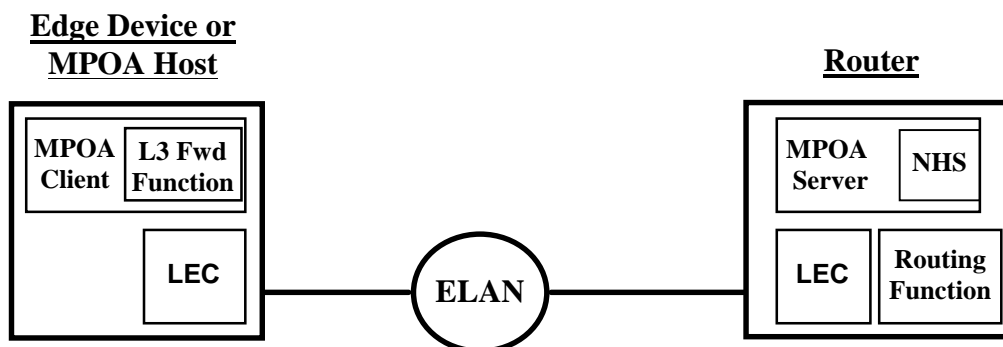
Fig. 13.24 - Componentes do sistema MPOA

A função principal do Cliente MPOA (MPC) é gerar e receber circuitos directos de nível 3. No nó de entrada, quando o MPC detecta um fluxo de pacotes que são enviados sobre a ELAN para um Router que contém um MPS, emite um pedido NHRP para obter informação para estabelecer um circuito directo ATM para o destinatário, sem passar pelos Routers. Quando lhe for transmitida a informação pedida, o MPC armazena a informação recebida na sua Cache, estabelece uma conexão ATM e envia as tramas do utilizador para o destinatário através dessa conexão, sem passar pelos Routers.

No nó de saída o MPC recebe as tramas vindas de outros MPCs e envia-as para as interfaces de utilizador. Um MPC pode servir um ou mais LEC e comunicar com um ou mais MPSs.

O Servidor MPOA (MPS) é o componente lógico do Router que proporciona a informação de nível 3 para os MPCs, de acordo com o protocolo NHRP. O MPS reside em geral nos Routers.

O MPOA envolve um conjunto de fluxos de informação que podem ser classificados em fluxos de controlo e fluxos de dados, tal como se mostra na figura 13.25.
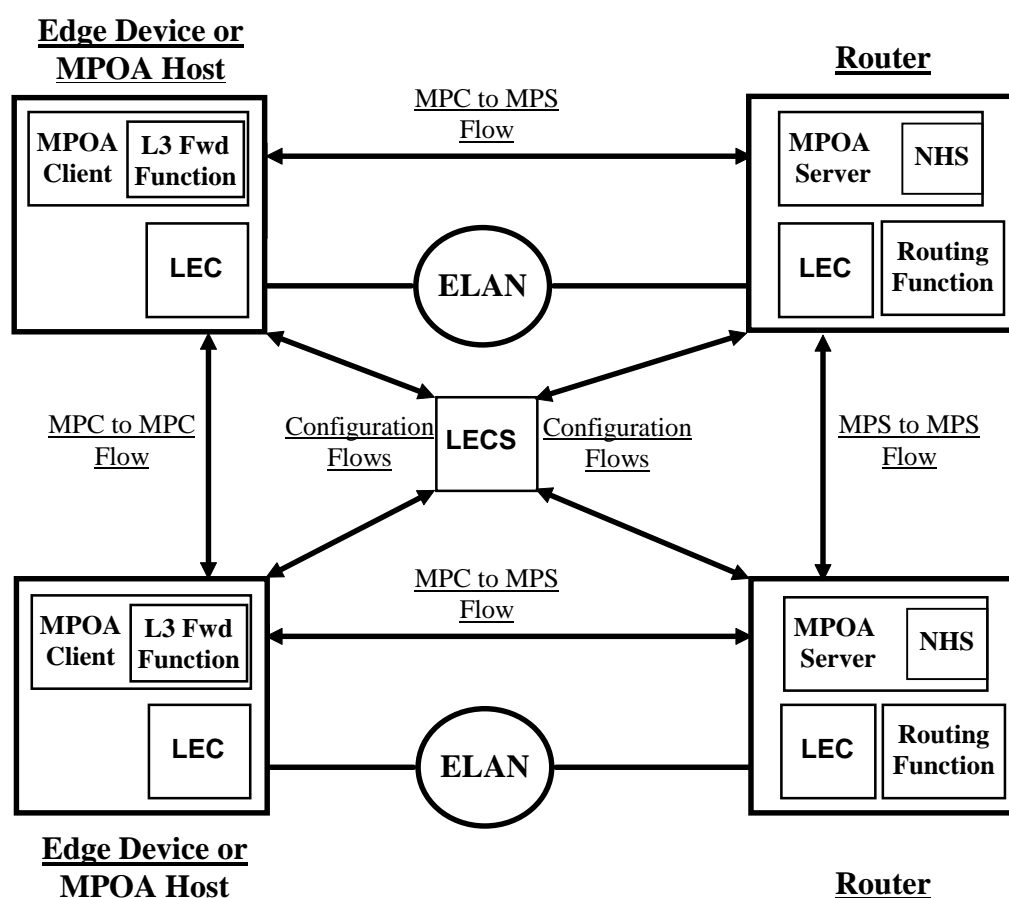
Fig. 13.25 - Fluxos de informação num sistema MPOA

O MPOA implementa as seguintes operações:

Configuração: obtenção da informação de configuração adequada
Descoberta: aprendizagem da existência mútua de MPCs e MPSs
Resolução de destinatário: determinação do mapeamento do destinatário para um endereço ATM de saída e um conjunto de parâmetros para estabelecimento de uma conexão ATM para envio de pacotes através de subredes.
Gestão de Conexão: criação, manutenção e terminação de conexões ATM para transferência de informação de controlo e de dados.
Transferência de dados: transferência de dados através da conexão ATM de curto-circuito.

Exemplifica-se em seguida o percurso de um pacote no sistema MPOA com o auxílio da figura 13.23. Um pacote entra no sistema MPOA no nó de entrada MPC1. Se ainda não foi detectado nenhum fluxo entre MPC1 e MPC2, não existe ainda uma conexão ATM de curto-circuito entre eles, pelo que o pacote é encaminhado entre ELANs através dos Routers equipados com MPOA (MPS1 e MPS2) até ao nó de saída MPC2. Se já tiver sido detectado um fluxo entre MPC1 e MPC2, já está estabelecida uma conexão ATM com o MPC2, pelo que os pacotes seguintes seguiriam directamente para o terminal MPC2, curto-circuitando os Routers.
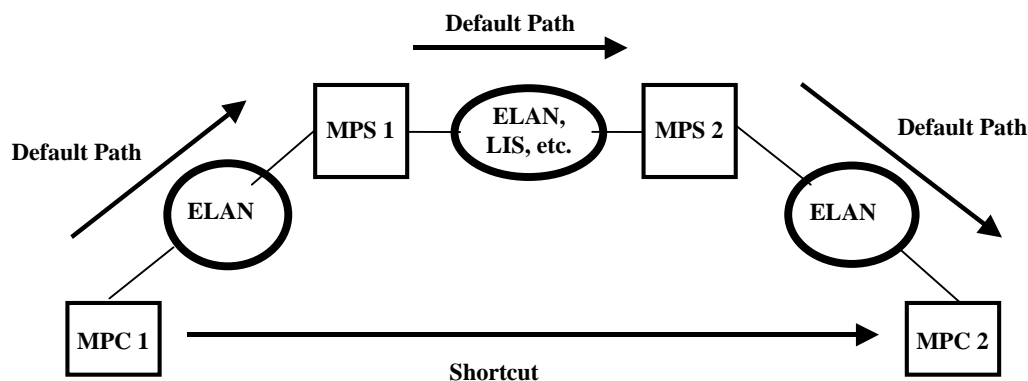
Fig. 13.26 - Exemplo de funcionamento do sistema MPOA

Fisicamente uma rede ATM com MPOA tem uma configuração que se exemplifica na figura 13.16.
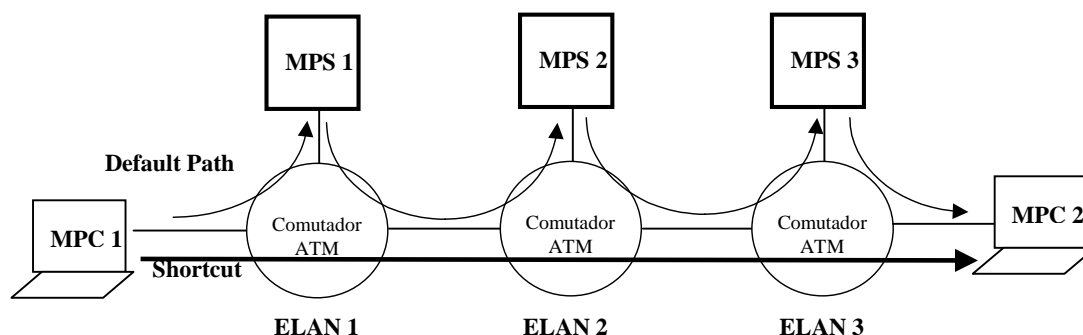
Fig. 13.26 - Exemplo de funcionamento do sistema MPOA

Podemos concluir que as principais vantagens do MPOA são as seguintes:

- Os clientes podem estabelecer conexões directas com os servidores remotos sem terem de transitar sempre através de Routers
- Latência inferior a LANE e CIP na conexão entre subredes
- Flexibilidade na selecção do tamanho máximo dos pacotes para aumento da eficiência
- Redução do tráfego de broadcast

As principais desvantagens do MPOA são:

- Complexidade
- Não tem suporte de QoS, mas pode tê-lo se o MPC for modificado

Abreviaturas

AAL	ATM Adaptation Layer
ABR	Available Bit Rate
ACR	Allowed Cell Rate
API	Application Programming Interface
AFI	Authority and Format Identifier
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B-BC	Broadband Bearer Capability
B-HLI	Broadband High Layer Information
B-ISDN	Broadband ISDN
B-LLI	Broadband Low Layer Information
BC	Bearer Capability
BCD	Binary Coded Decimal
BCOB	Broadband Connection Oriented Bearer class
BRM	Backward RM cell
CDVT	Tolerância a diferenças de atrasos (*Cell Delay Variation Tolerance*)
CBR	Constant Bit Rate
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Taxa de células Perdidas (*Cell Loss Ratio*)
CN	Customer Network
CPCS	Common Part Convergence Sub-layer (of AAL)
CPI	Common Part Indicator
CONS	Connection Oriented Network Service
CP	Common Part
CPS	Common Part Sublayer
CTD	Atraso de Transmissão (*Cell Transfer Delay*)
CID	Channel Identifier
DCE	Data Circuit terminating Equipment
DSP	Domain Specific Part
DTE	Data Terminal Equipment
ED	Expedited Data (PDU)
EDAK	Expedited Data Acknowledgement (PDU)
ET	Exchange Termination
ER	Explicit Rate
FRM	Forward RM cell
GFR	Guaranteed Frame Rate
HEC	Header Error Control
HLC	High Layer Compatibility
HLI	High Layer Information
IDI	Initial Domain Identifier
IE	Information Element
IEC	International Electrotechnical Commission
IETF	Internet Engineering Task Force
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Organisation for Standardization
IWF	Interworking Function
LLC	Low Layer Compatibility
LLI	Low Layer Information
LI	Length Indication
LM	Layer Management
LSB	Least Significant Bit
MBS	Dimensão Máxima de trem de dados (*Maximum Burst Size*)
MCR	Ritmo Mínimo (*Minimum Cell Rate*)
MFS	Maximum Frame Size
MID	Multiplexing Identifier (ver I.363)
MPOA	Multiprotocol over ATM
MSB	Most Significant Bit

N-BC	Narrowband Bearer Capability
N-HLC	Narrowband High Layer Compatibility
N-ISDN	Narrowband ISDN
N-LLC	Narrowband Low Layer Compatibility
NNI	Network Node Interface
NPC	Network Parameter Control
NSAP	Network Service Access Point
NS	(OSI) Network Service
NSAP	(OSI) Network Service Access Point
N-SDU	Network Service Data Unit
OAM	Operations, Administration and Maintenance
OSF	Offset Field
PAD	Padding
PCI	Protocol Control Information
PCR	Peak Cell Rate *(*Ritmo Máximo)
PDU	Protocol Data Unit
PPT	Packet Payload Type
QOS	Quality of Service
RM	Resource Management cell
SAP	Service Access Point
SAAL	Signalling AAL
SAR	Segmentation And Reassembly
SCF	Synchronization and Coordination Function
SDL	Specification and Description Language
SDU	Service Data Unit
SN	Sequence Number
SSCF	Service Specific Coordination Function
SSCOP	Service Specific Connection Oriented Protocol (of AAL)
SSCS	Service Specific Convergence Sub-layer (of AAL)
SSCOP-UU	SCOP User-to-User parameter
SCR	Ritmo Médio (*Sustainable Cell Rate*)
SDT	Structured Data Transfer
SDU	Service Data Unit
SPC	Semi-Permanent Connection
STF	Start Field
SVC	Signalling Virtual Channel
TE	Terminal Equipment
UNI	User-Network Interface
UPC	Usage Parameter Control
UUI	User-to-User Indication
VBR	Variable Bit Rate
VC	Virtual Channel
VCC	Virtual Channel Connection
VCI	Virtual Channel Identifier
VP	Virtual Path
VPCI	Virtual Path Connection Identifier
VPI	Virtual Path Identifier

Bibliografia

Martin De Prycker;
Asynchronous Transfer Mode. Solution for Broadband ISDN (Third Edition)
Ellis Horwood, 1995.

Uyless Black;
ATM: Foundation For Broadband Networks
Prentice Hall, 1995.

Thomas M. Chen, Stephen S. Liu;
ATM Switching Systems,
Artech House, 1995.

Hiroshi Saito;
Teletraffic Technologies in ATM Networks
Artech House, 1994.

John Atkins, Mark Norris;
Total Area Networking. ATM, Frame Relay and SMDS Explained
British Telecom, 1994.

Raif O. Onvural,
Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues
Artech House, 1993.

Daniel Minoli, Anthony Alles;
LAN, ATM and LAN Emulation Technologies
Artech House, 1996

Mischa Schwartz
Broadband Integrated Networks
Prentice Hall, 1996

Berry Kercheval
TCP/IP Over ATM: A No-Nosense Interworking Guide
Prentice Hall, 1997.

J. M. Pitts, J. A. Schormans
Introduction to ATM Design and Performance
John Wiley & Sons, 1997.

Raif O. Onvural, Rao Cherukuri
Signallng in ATM Networks
Artech House, 1997

William Stallings
High-Speed Networks. TCP/IP and ATM Design Principles
Prentice Hall, 1998